BIBLIOTHECA
REGIA
MONACENSIS.

<36626527290018
<36626527290018
Bayer. Staatsbibliothek

Ueber die

Bewegung der Wellen

und

über den

Bau am Meere und im Meere.

Von

A. R. Emy,

königl. franz. Oberſten im Genie=Corps, Offizier der Ehrenlegion und Ludwigs=ritter, ehemaligem Fortifikations=Direktor von la Rochelle und Bayonne, Mitgliede der Akademie der Künſte und Wiſſenſchaften von la Rochelle.

Aus dem Franzöſiſchen überſetzt

von

C. Wieſenfeld,

Profeſſor der Baukunſt am Prager polytechniſchen Inſtitute, Mitgliede mehrerer gelehrter Geſellſchaften.

Mit 10 Kupfertafeln.

Wien, 1839.

Verlag von Ludwig Förſter's artiſtiſcher Anſtalt.

269-D.

Gedruckt bei J. P. Sollinger.

Bayerische
Staatsbibliothek
München

Vorrede des Verfaſſers.

Viele Gelehrte haben mit Hilfe der Analyſe das Problem der Wellen zu löſen geſucht, aber ihren Kalkül auf willkürliche Vorausſetzungen oder auf ſolche Erfahrungen gegründet, bei welchen ganz andere Umſtände obwalteten und ganz andere Mittel eine Bewegung hervorbrachten, welche der immerwährenden und großartigen der Meereswogen entſprechen ſollte.

Newton war der erſte, welcher ſich mit der Bewegung der Wellen beſchäftigte, auch Laplace, Lagrange, Biot und Poiſſon haben ihren Scharfſinn darauf gerichtet; alle ihre Theorien aber ſind auf Annahmen gegründet, ohne welche die Aufgaben ſo verwickelt geworden wären, daß ihre Löſung nicht gehofft werden konnte *).

Die vorzüglichſten Unterſuchungen bezogen ſich jedoch nicht auf die Baukunſt, denn man bekümmerte ſich nur um die Geſchwindigkeit der Wellen auf der Oberfläche einer Flüſſigkeit für eine augenblickliche Schwankung, und vernachläſſigte meiſtens die Phänomene, welche die Oscillation der Wellen begleiten.

---

*) **Mémoire sur la théorie des ondes par M. Poisson. Nouveau recueil de l'Academie des Sciences t. 1.**

Der Zweck ſolcher Unterſuchungen ſchien mehr eine Erweiterung des Gebietes der transcendenten Analyſe als die Auffindung von Reſultaten zu ſein, welche beim Seebauweſen nützlich ſein konnten, wo es wichtig iſt, die Art und Weiſe des Wellenſpieles, das heißt jener Bewegung, die im Innern der ſchwingenden Maſſen vorgeht und zerſtörend auf die Umgebungen wirkt, kennen zu lernen.

Den Herren de la Coudraye*), Offizier in der Marine, und Brémontier**), Ingenieur beim Straßen- und Brückenbau, verdankt man die erſten, auf Beobachtung gegründeten Unterſuchungen über die Wellen.

Herr de la Coudraye hatte beobachtet, daß die Waſſertheilchen einer Welle ſich faſt nur vertikal auf- und abwärts bewegen; Brémontier aber ſprach beſtimmt aus, daß die Elementchen des Waſſers ſich erheben und herabfallen, ohne weder in Bezug auf die Oberfläche von ihrer Stelle zu rücken, noch von der vertikalen Linie abzuweichen. Dieſe Gelehrten haben dieß mit aller Strenge als Grundſatz angenommen, und bei ihren Unterſuchungen über die Fortpflanzung der Wellen nichts weiter als die Höhe (amplitude) der vertikalen Oscillationen betrachtet.

Brémontier ſchlug in Folge dieſer nur vertikalen Bewegung vor, die dem Waſſer zugekehr-

---

*) Théorie des vents et des ondes. Paris an. X.

**) Recherches sur les mouvemens des ondes. Paris 1809.

ten Flächen der Strand-Mauern, und anderer, dem Wellenſchlage ausgeſetzten Bauwerke ſenkrecht herzuſtellen.

Ich habe, da ich in der Lage war, eine große Menge vom Meere zerſtörter Mauern zu unterſuchen, bemerkt, daß viele, obgleich mit faſt ſenkrechten Verkleidungen verſehen, in Rückſicht auf ihre Stärke verhältnißmäßig ſchnell zu Grunde gegangen waren *).

Indem ich bei Neubauten, und namentlich bei Herſtellung einiger großen Futtermauern dieſe bedeutenden Nachtheile vermeiden wollte, habe ich mich bemüht, zu unterſuchen, warum Brémontier's Theorie ſo wenig mit den Reſultaten der Erfahrung übereinſtimme.

Ohne Hoffnung, die Schwierigkeiten des Kalküls zu überwinden, welche bereits der Gegenſtand des Nachdenkens der erſten Gelehrten geweſen ſind, habe ich mich allein darauf beſchränkt, die Erſcheinungen bei Wellen auf dem Meere ſelbſt in ihrer imposanten Größe, und unter Einwirkung aller Umſtände zu beobachten. Ich erkannte, daß viele Beobachtungen der Herren de la Coudraye und Brémontier wahr, aber die daraus abgeleiteten Theorien unvollkommen ſeien, und daß vorzüglich die von Brémontier in Beziehung auf die

*) Die Außenflächen der Mauern haben gewöhnlich eine Böſchung von 1/5 bis 1/10 der Höhe, was ſich der ſenkrechten Stellung ziemlich nähert.

Geſtalt *) und Brechung der Wellen, ihr Auslaufen, und das, was er die Grundwellen **) nennt, falſch ſei. Ich habe entdeckt, daß die wirklichen Grundwellen ſehr wichtige, ihrer Natur nach bis jetzt unbekannte Erſcheinungen darbieten, obgleich einige ihrer Wirkungen ſchon beobachtet wurden.

Die Grundwellen (in Ermanglung einer beſſeren Benennung behalte ich dieſen Namen bei), ganz unähnlich jenen an der Oberfläche, ſind die vorzüglichſten Urſachen der Veränderungen der Ufer und der Zerſtörung der Seebauwerke. Ich nahm wahr, daß ſie einen ungeheuren horizontalen Stoß hervorbringen, und daß daher unter allen, dem Meere ausgeſetzten Mauerprofilen keines weniger zweckmäßig ſei, als das von Brémontier angegebene. Ich unterzog mich hiernach der Unterſuchung, welche Form die Strandmauern erhalten müßten, um im Stande zu ſein, der Wuth der Wellen zu widerſtehen, und das im achten Kapitel beſchriebene Profil einer Strandmauer gibt die Auflöſung der mir vorgeſetzten Aufgabe. Dieſes Profil wurde ausgeführt, und hat, obgleich es bis jetzt erſt zehn Jahre beſteht, die von

*) Es iſt bemerkenswerth, daß die Gelehrten den Wellen ſolche Krümmungen zuſchrieben, welche von jenen, die ſie wirklich haben, ganz verſchieden ſind, und daß gute Seemaler, welche die Natur kopirten, ihre wahre Geſtalt viel beſſer darſtellten.

**) Das Werk von Brémontier iſt erſt nach ſeinem Tode gedruckt worden, und es unterliegt keinem Zweifel, daß, wenn dieſer gelehrte Ingenieur noch länger am Leben geblieben wäre, er ſeine Theorie verbeſſert hätte; ich aber mußte ſie ſo betrachten, wie ſie dem Publikum mitgetheilt wurde.

mir beabſichtigten Vortheile gewährt, weßwegen es auch jetzt bereits von mehreren Ingenieurs angenommen worden iſt. Der Zweck dieſer Schrift iſt ferner, zu zeigen, wie Seebauwerke vom Meere angegriffen und zerſtört werden, und wie das oben angezeigte Profil dieſelben fähig mache, der beſtändigen Wirkung der Wellen zu widerſtehen. Ich werde durch eine neue Theorie die Erſcheinungen bei Wellen und diejenigen aus der phyſiſchen Geographie, bei welchen das Meer einwirkt, z. B. Anſandungen, Untiefen an den Flußmündungen (barres), das Toben des Meeres bei ruhiger Luft, die Springflut in Flüſſen, erklären, und endlich verſuchen, auch einige geologiſche Fragen zu beantworten.

Indem ich mich mit den Phänomenen der Wellen beſchäftigte, mußte ich auch die Mittel unterſuchen, die Ruhe des Waſſerſpiegels in den Häfen hervorzubringen, weßwegen ich mir die Gelegenheit verſchaffte, die Rhede zu Cherbourg mit größter Aufmerkſamkeit zu ſtudiren, was zufällig gerade zur Zeit der größten Flut, im Oktober 1830, geſchah. Meine Wellen-Theorie beſtimmte mich zu der Vermuthung, daß die Grundwellen das Gelingen der Dammarbeiten bis jetzt verhindert hätten; meine Vermuthung ward zur Gewißheit, als ich auf der Steinſchüttung war, und dieſelben Wirkungen des Meeres ſah, wie ich ſie bereits anderswo bemerkt hatte.

Nachdem alle dortigen Bauten ſo wie die gemachten und beabſichtigten Vorſchläge kurz ge-

würdiget ſein werden, lege ich hier einen neuen Entwurf vor, welcher nach der Theorie der Wogen und der Grundwellen die vollkommene und unfehlbare Löſung eines Problemes enthält, das den Dienſt der franzöſiſchen Marine in hohem Grade intereſſirt.

Ob ich gleich gezwungen bin, die bisher geltenden Wellentheorien zu unterſuchen, um ihre Unzulänglichkeit darzuthun, ſo möge man, wenn ich auch eine neue, vollkommnere Theorie als Erſatz dafür zu bieten verſuche, in dieſem Werke keine analytiſchen Unterſuchungen oder eine gelehrte Abhandlung über die Oscillationen der Wellen erwarten. Ich habe bloß die zahlreichen, durch alle Seeleute als wahr anerkannten, oder von mir geſammelten Erfahrungen in der Abſicht zuſammengeſtellt und erklärt, um, wenn auch keine vollſtändige Theorie aufzuſtellen, doch die nützlichen Kenntniſſe über Phänomene zu vermehren, welche die Ingenieurs bis jetzt, meiſtens mit wenigem Erfolge, beobachtet haben. Ich glaube in Beziehung auf das, was bei Seebauten, und hauptſächlich zur Bekämpfung und Zähmung der Wellen nöthig iſt, genug geſagt zu haben, und würde mich glücklich ſchätzen, wenn mein Werk die Aufmerkſamkeit der Gelehrten in ſo weit auf ſich zöge, um ſie zu ſtrengen analytiſchen Unterſuchungen, welche in den Bereich der naturforſchenden Mathematik gehören, zu beſtimmen.

Vorrede zur deutſchen Ueberſetzung.

Von allen mathematiſchen Unterſuchungen der Natur iſt keine bisher von weniger glücklichem Erfolge geweſen, als die Erörterung der Bewegungsgeſetze des Waſſers und überhaupt aller Flüſſigkeiten. Es iſt der Analyſis gelungen, die Mechanik des Himmels den genaueſten Rechnungen zu unterziehen, für die Bewegung des Waſſers aber hat aller Scharfſinn der Analytiker, wir mögen es frei bekennen, kaum den Schatten einer vollkommenen Theorie zu begründen vermocht. — Nach vielfältigen und in der That doch ſo wenig erfolgreichen Bemühungen der achtbarſten Phyſiker und Mathematiker, ſchien man faſt daran verzweifeln zu müſſen, daß es je möglich ſein werde, die Reſultate der Rechnung mit den Erſcheinungen übereinſtimmen zu ſehen. Gewiß wäre dieß jedoch anders, wenn jene großen Männer, die ſich mit hydrauliſchen Problemen beſchäftigten, durch zahlreiche und gute Beobachtungen ihrer Vorfahren, wie z. B. in der Aſtronomie, in den Stand geſetzt worden wären, für ihre Rechnungen die erforderlichen Daten und für ihre Reſultate einen Prüfſtein zu finden. Dem Mangel dieſer Beobachtungen iſt es demnach vorzüglich zuzuſchreiben, daß faſt Alles, was hierin geleiſtet wurde, ganz oder theilweiſe auf willkürlichen und oft unſtatthaften Vorausſetzungen und Spekulationen beruht, denn es konnten dem Kalkul nur ſehr wenige und nur ſehr unzuverläſſige Daten unterlegt werden,

Auch auf dem Wege kleiner Verſuche, wie ſie du Buat, die Gebrüder Weber und mehrere Andere angeſtellt haben, iſt man dem gewünſchten Ziele nur unmerklich näher gerückt.

Hierin allein läge im Allgemeinen ſchon Aufforderung genug für die Naturforſcher, ſich mit einem Gegenſtande zu beſchäftigen, der noch ſo wenig ergründet iſt; dieſe Lücke in der Wiſſenſchaft hat aber auch auf das praktiſche Leben einen weſentlich nachtheiligen Einfluß, denn dort, wo es ſich darum handelt, das Waſſer zu benützen, oder die Werke der Menſchen gegen dieſen unermüdlichen und zugleich rieſig ſtarken Feind derſelben zu befeſtigen oder zu vertheidigen, entbehrt man häufig faſt ganz einer gründlichen wiſſenſchaftlichen Belehrung und Unterſtützung. Ungeachtet zu unſerer Zeit fortwährend große und merkwürdige Waſſerbauten aller Art ausgeführt werden, ſo iſt dabei am meiſten doch nur die Kühnheit und vorzüglich die Umſicht und Geſchicklichkeit in Ueberwindung der vorkommenden Schwierigkeiten zu bewundern, und man muß oft von Glück ſagen, wenn unter dem Anſcheine wiſſenſchaftlicher Begründung, das Urtheil des geſunden Verſtandes, oder der Rathſchlag eines praktiſchen Sinnes verhüllt iſt; weit öfter wird die mangelhafte Theorie willkürlich gedeutet und mißbraucht, und auf dieſe Art die Quelle ganz verkehrter und widerſprechender Anſichten und Projekte.

Es iſt allerdings demüthigend, dieſes Geſtändniß ausſprechen zu müſſen, gleichwohl aber macht man dadurch den erſten Schritt vorwärts, da Selbſtgefälligkeit nirgend nachtheilbringender iſt als hier. Mit

einem Schlage, und ſo leichten Kaufes wird man, wie die Erfahrung lehrt, den Principien der Waſſerbewegung keineswegs auf die Spur kommen, — doch welches wiſſenſchaftliche Syſtem wurde wohl in einer Nacht zuſammen geſtellt?

Das Belauſchen der Natur bei Beobachtung der Bewegung des Waſſers hat ſeine beſonderen Schwierigkeiten, weil die Erſcheinungen eben ſo vorübergehend als complicirt ſind, aber mühſamere Beobachtungen und ſchwierigere Probleme als in der Aſtronomie dürften doch nicht immer vorkommen, und deßwegen ſcheint die Hoffnung nicht ungegründet zu ſein, daß, wenn Männer von ſcharfer Beobachtungsgabe ſich fortan ſolchen Arbeiten unterziehen, einſt auch die Hydraulik, wenigſtens theilweiſe jenen Grad von Vollkommenheit und Zuverläſſigkeit erlangen werde, welcher für dieſen Theil der Naturwiſſenſchaft ſo wünſchenswerth und nothwendig iſt.

Derjenige Zweig der Hydraulik im weiteſten Sinne, welcher die großartigſten Erſcheinungen umfaßt, betrifft die Bewegung der Wellen, und vielleicht eben darum haben ſich ſeit Newton die ausgezeichnetſten Köpfe mit demſelben beſchäftigt. Durch Theorie und Verſuche iſt wirklich ſchon Vieles erklärt worden, aber merkwürdiger Weiſe haben jene Männer, denen wir die ſcharfſinnigſten Erörterungen über die Wellenbewegung verdanken, den eigentlichen Schauplatz der Wellen — ich meine das Meer — kaum geſehen, viel weniger aufmerkſam genug beobachtet. In der Hauptſache blieb ihr Genie daher ohne eigene Anſchauung auf den ohnehin kargen Schatz ſchwankender und undeutlicher Berichte hingewieſen. — Welch Wunder

demnach, daß dieſer Theil der Phyſik ſo unvollkommen blieb als er es iſt, und daß wir bis heute unvermögend ſind, viele große Phänomene des Meeres, die verſchiedenen Strömungen, das Auswerfen der ins Meer gefallenen Körper und dergleichen mehr, auch nur einiger Maßen befriedigend zu erklären?

So viel uns bekannt iſt, haben zwar einzelne Männer ſchon im Verlauf des vorigen Jahrhunderts die Wellen des Meeres in der Abſicht, eine erſchöpfende Wellentheorie ausfindig zu machen, wiſſenſchaftlich zu beobachten angefangen, doch ſind ſie, ſo dankenswerth übrigens ihre Bemühungen ſind, noch weit davon entfernt geblieben, dieſe große Aufgabe gehörig zu löſen. Erſt unſerer Zeit ſchien es vorbehalten zu ſein, hierin, ſo wie in vielem Andern einen bedeutenden Fortſchritt zu machen. Dem franzöſiſchen Ingenieur-Oberſten Emy, einem Manne von gründlicher Bildung und begabt mit einem hohen Grade von Scharfſinn, der mehrere Decennien lang das Meer aufmerkſam beobachtet und ſeinem Berufe gemäß am Meere gebaut hatte, gelang es, ſeine vielfältigen Erfahrungen mit jenen Anderer zu vereinigen und nach ſorgfältiger Prüfung und Sichtung aller ihm bekannt gewordenen Leiſtungen in dieſem Fache, ein vollſtändiges Syſtem der Wellenbewegung zu begründen. Ein einziger heller Gedanke, die Entdeckung und Erklärung der Grundwellen, hätte ihm allein ſchon die Anerkennung und den Dank der Nachwelt erworben. Er hat die geſammten Reſultate ſeiner Forſchungen, ſo wie nicht minder eine Anwendung derſelben auf das Seebauweſen im Jahre 1831 der Publicität übergeben. In dieſem ſchätzbaren Werke iſt eine Wellentheorie nicht bloß hypothetiſch aufgeſtellt, ſondern ſie iſt auch bewährt durch den

guten Erfolg der nach ſolchen Principien ausge- führten Bauten, während ſie zugleich dazu dient, viele noch nicht gehörig erklärte Erſcheinungen und Thatſachen aus dem Gebiete der Phyſik und Geologie, ihrer Urſache und Weſenheit nach, vollkommen zu erklären.

Es ſind daher von dem Oberſten Emy nicht etwa bekannte Sachen nur neu aufgewärmt worden, ſondern ſeine Arbeit iſt als eine wahre Bereicherung der Naturwiſſenſchaften und der Baukunſt zu betrachten, und das deutſche Publicum erhält in der hier gelieferten Ueberſetzung ein, dem Phyſiker und Ingenieur gleich intereſſantes und wichtiges Werk. Erſt jetzt, wo Alles, was mit der Wellenbewegung des Waſſers in Verbindung ſteht, deutlich erörtert werden kann, erhalten die ſämmtlichen früheren Abhandlungen über dieſen Gegenſtand ihren gehörigen Werth, und es wird nicht fehlen, daß bei der Aufmerkſamkeit, welche man ſeit dem Beginne dieſes Jahrhunderts der fortgeſetzten und ununterbrochenen Beobachtung des Meeres gewidmet hat, nun auch jene Meeres-Erſcheinungen, die größtentheils von der Bewegung der Himmelskörper abhängen, ihre vollſtändige Erklärung finden werden. Die neulich erſt bekannt gewordene Abhandlung des Herrn Whewell über die Flutwellen *) ſcheint dieſe Meinung zu beſtätigen.

Es hätte in dieſer Ueberſetzung die hie und da eingewobene Widerlegung einiger älterer Irrthümer, da ſie von deutſchen Gelehrten aus der letzten Zeit,

---

*) Phil. Trans. of the Royal Society of London 1833 Part. I. p. 147, auch deutſch in den Annalen der Erd-, Völker- und Staatenkunde von Dr. H. Berghaus. 12. Jahrgang, 1837. p. 393.

deren Schriften dem Herrn Oberſten Emy unbekannt blieben, berichtigt ſind, ausgeſchieden und eben ſo wohl manche, vorzüglich theoretiſche, Zuſätze gemacht werden können, aber aus gerechter Scheu vor unberufener Willkür und um auch den Schein zu vermeiden, als hätte man an einer vorzüglichen Sache meiſtern wollen, iſt in der Form und in der Weſenheit des Originales nichts geändert worden. Die analytiſche Behandlung der Wellenbewegung mag einem beſonderen Werke vorbehalten bleiben.

Mit dem Wunſche, daß Emy's Werk in Deutſchland eine gleiche Würdigung und Anerkennung finden möge, wie in Frankreich, verbindet man die Bitte, vor Leſung deſſelben die angezeigten wenigen Druckfehler gütigſt zu verbeſſern.

Prag, im Jänner 1839.

Der Ueberſetzer.

Ueber die

Bewegung der Wellen

und über den

Bau am Meere und im Meere.

Erſtes Kapitel.

Scheinbare Fortbewegung der Wellen.

1. Die Wellen ſind nichts anderes als Unebenheiten der Oberfläche des, in Unruhe verſetzten Meeres; es gibt deren zwei Gattungen: die erſte begreift jene Wellen, welche ich die laufenden nennen werde, weil es ſcheint, als befänden ſie ſich in fortſchreitender Bewegung; ſie werden meiſtens durch den Stoß des Windes hervorgebracht, kommen von der offenen See, und endigen am Ufer. Die zweite Gattung begreift die ſtehenden Wellen. Dieſe ſind eine Art der erſtern, nichtsdeſtoweniger aber von ihnen ganz verſchieden, denn ſie zeigen kein Fortrücken. Bis jetzt haben Jene, welche über die Wellen geſchrieben haben, nur von den laufenden geſprochen.

2. Man ſieht oft Wellen von verſchiedener Größe ſich zugleich nach verſchiedenen Richtungen bewegen, ſich nach allen Richtungen kreuzen, und ſo den Anblick von Unordnung darbieten; aber bei genauerer Beobachtung erkennt man, daß jede Welle, ſelbſt während der heftigſten Aufregung, einem eigenen Syſtem von, durch eine beſondere Kraft hervorgebrachter, ſchwankender Bewegung angehöre, und daß jede dieſer Wellenſchwankungen unabhängig von andern, allein beſtehen könne. Die Kombination mehrer Wellen-Syſteme gibt eine zuſammengeſetzte Wellenſchwankung. Brémontier hat nur ſolche zuſammengeſetzte Waſſerbewegungen beobachtet, welche von der Durchkreuzung kreisförmiger Wellen herrühren, die durch den Fall dreier Körper in ein Baſſin entſtanden ſind.

Er beobachtete auch ein zeitweiſe wiederkehrendes Erheben der Wellen, und ſchrieb es mit Recht dem Zuſammenwirken zweier Wellenſyſteme zu; eines von großen, ſehr ſichtbaren Wellen, das andere von kaum bemerklichen, d. i. ſolchen, die bei großer Breite nur eine ſehr ſchwache Erhebung zeigen; er gab aber keine Erklärung über das gleichzeitige Beiſammenſeyn mehrer Wellenſyſteme, und Niemand beſchäftigte ſich weiter damit.

Ich hätte mich wohl deſſen entheben können, von den zuſammengeſetzten laufenden, und eben ſo von den ſtehenden Wellen zu ſprechen, weil ſie nicht in unmittelbarer Beziehung zu den Seebauten ſtehen; aber inſofern ſie mit den allgemeinen Fragen über die Wellen zuſammenhängen, glaubte ich ihnen ein Plätzchen in dieſem Werke einräumen zu müſſen; übrigens aber läßt ſich Alles, was ich über die zuſammengeſetzten Wellenſyſteme und über die ſtehenden Wellen anführe, aus dem Mechanismus der einfachen Wellen entwickeln, und wird dazu dienen, die Zuverläſſigkeit meiner Theorie über die Bewegung der Wellen zu bewähren.

3. Die Wellen, welche von der offenen See kommen, haben, verglichen mit den ſekundären, die ſie durchkreuzen, meiſt eine ſo bedeutende Größe, daß man ſie als einfache betrachten kann, und dieß um ſo mehr als ſie allein gegen die Bauwerke eine kräftige Wirkung äußern, ſei es auf direkte Art, oder indem ſie, höchſt zerſtörende, Grundwellen hervorbringen.

4. Es ſei **A B C D E F G** Fig. 1 das, bis jetzt angenommene Profil, welches für einen gegebenen Zeitmoment den, mit der Fortrückung oder ſcheinbaren Bewegungsrichtung parallelen Durchſchnitt einer verticalen Ebene, mit der bewegten Waſſermaſſe darſtellt. Es verſteht ſich, daß die Erzeugungslinien der ſchwankenden Oberfläche (generatices) in jedem Zeitmomente gerade, horizontale, auf den obigen Durchſchnitt

ſenkrechte Linien ſind, und daß in jedem Augenblicke dieſe Waſſeroberfläche von der Gattung der cylindriſchen, die, in der Figur gezeichnete Kurve bildet. Dieſe vollkommene Regelmäßigkeit der Wellen findet indeſſen wegen des ſteten Wechſels der Winde faſt niemals Statt. Doch iſt es nöthig, ſie hier vorauszuſetzen, um einen, ohnehin ſo ſchwierigen Gegenſtand zu vereinfachen. Zum Glück kann dieſe Vorausſetzung auf die Genauigkeit der Reſultate unſerer Unterſuchungen keinen nachtheiligen Einfluß haben.

Man nennt Wellenberge jene Theile **B. D. F.** der ſchwankenden Waſſermaſſe, welche über **O R** ſich erheben, und **O R** ſtellt den horizontalen und ebenen Spiegel dieſes, als vollkommen ruhig, gedachten Waſſers vor. Wellenthäler heißen die Vertiefungen **C E**, zwiſchen den Wellenbergen und unter demſelben Niveau, **O R.** Jede Welle beſteht daher aus einem Wellenberge und zwei halben Wellenthälern, oder was einerlei iſt, jede Undulation abwechſelnd aus Wellenbergen und Wellenthälern, ſo, daß der Berg zwiſchen zwei Wellenthälern, und das Wellenthal zwiſchen zwei Wellenbergen eingeſchloſſen iſt.

5. Man iſt übereingekommen, die Entfernung der Mitten zweier nachbarlicher Wellenthäler die Länge der Wellen zu nennen; ſo iſt **C E** die Länge, und die Vertikale **D Z**, die Höhe der Welle **C D E.** Man ſagt, die Wellen ſeien lang oder kurz, je nach dem Verhältniß der Linie **C E** zur Höhe **D Z**, indem man die Wellen des weiten Oceans, des größten bekannten Waſſerbeckens, wo ſie nach jeder Richtung hin den erforderlichen Raum zur freien Bewegung haben, zur Richtſchnur nimmt.

Es wäre richtiger geweſen, dieſes Ausmaß die Breite zu nennen, und die Bezeichnung Länge für jene, oft meilenlange Ausdehnung der Wellenberge zu beſtimmen, welche meiſt parallel mit dem Ufer iſt. In wulſtförmigen, ununterbrochenen

und unter ſich parallelen Linien ſcheinen die Wellen nemlich dem Ufer zuzueilen. Nichts deſtoweniger haben die Seeleute, ſie mögen das bewegte Meer wie immer mit ihren Schiffen durchſchneiden, ſtets die Länge nach jener Richtung gezählt, wohin die Bewegung der Wellen zu gehen ſcheint.

6. Die Bewegung der Wellen zeiget ein ſcheinbares Fortrücken derſelben. Betrachtet man aber die Bewegung der Elemente des Waſſerſpiegels, ſo bemerkt man, daß ſie bloß ſchwanken (oscilliren) und die Wellenberge bilden, indem ſie ſich erheben, die Wellenthäler, indem ſie ſich ſenken. Eine wirkliche Fortbewegung in horizontaler Richtung findet nicht Statt, und nur die Ordnung und Aufeinanderfolge der Schwankungen verurſachen die Wellen und den Anſchein des Fortrückens. Stellet man ſich vor, daß die Wellen in O erregt werden, und von O nach R ſich fortpflanzen, ſo ſieht man die Wellenberge B D F, einen nach dem andern auch von O nach R vorrücken, und doch beweget ſich kein Waſſertheilchen wirklich von O nach R. Die fortrückende Bewegung beziehet ſich demnach wohl auf die Geſtalt der Wellen, nicht aber auf die Waſſertheilchen *). Gerade ſo iſt's bei der Bewegung einer, in der Luft flatternden Fahne; die wellenförmigen Ausbauchungen und Einbauchungen durchlaufen die ganze Ausdehnung des Stoffes, und doch bleibt dieſer befeſtigt an der unbeweglichen Stange. Eben ſo iſt's bei den Schwingungen der Aehren eines Kornfeldes. Die, vom Winde hervorgebrachten Wellen ſcheinen fort

*) Nichts ſtellt die Fortrückung der Geſtalt ohne wirkliche Bewegung der Materie nach der Richtung der Fortrückung beſſer dar, als die Oberfläche einer Schraube, welche man zwiſchen zwei feſten Puncten um ihre Achſe drehet. Man bedient ſich auch in Theatern großer gewundener Säulen, welche, angemeſſen gemalt, horizontal gelegt, und um ihre Achſe gedreht werden, um die Bewegung der Wellen auf eine ſehr täuſchende Weiſe vorzuſtellen.

zu fliehen, und doch ſind Aehren und Halme an die Scholle gebunden. Es iſt endlich auch ſo mit den Schwingungen einer langen Saite, deren eines Ende feſtgehalten wird, während das andere ſich frei nach der Wirkung der mitgetheilten Bewegung krümmt. Die Fig. 5 zeigt hiervon ein Beiſpiel *).

7. In fließenden Wäſſern, ſelbſt während der Ebbe und Flut des Meeres, haben die Wellen, von welcher Seite her ſie ſich auch fortpflanzen mögen, durchaus keinen Einfluß auf die Geſchwindigkeit des Stromes; aber dieſer reißt ſie mit ſeiner Geſchwindigkeit fort, ohne übrigens im mindeſten den Mechanismus der oscillirenden Bewegung zu ändern, ſo zwar, daß, je nachdem die Wellen dem Strome, auf welchem ſie ſich zeigen, entgegen gehen oder folgen, ihre ſcheinbare Geſchwindigkeit gleich iſt dem Unterſchiede oder der Summe ihrer eigenen, und der Geſchwindigkeit des Stromes. Ich nenne die eigene Geſchwindigkeit der Wellen jene, welche ſie hätten, wenn das Waſſer ſtünde.

Es geſchieht zuweilen an der Ausmündung von Flüſſen, daß die Geſchwindigkeit der, vom Meere herkommenden Wellen, jener des Fluſſes ziemlich gleich iſt; es bilden ſich dann auf der Oberfläche desſelben unbeweglich ſtehende Hügelreihen, und das ſtrömende Gewäſſer iſt gezwungen, dieſer Geſtalt ſich zu fügen.

8. Obgleich es gewiß iſt, daß die Wogen oder Wellen weder mit der nemlichen Größe, noch mit der nemlichen Kraft, welche ſie oft in entfernten Meeresgegenden, dort, wo ſie er-

*) Nicht ſo iſt es mit einem Waſſerſtrahle b c d Fig. 6, welchem man durch Hin- und Herbewegung des Spritzröhrchens a b eine wellenartige Geſtalt gibt, die bis in's Unendliche abgewechſelt werden könnte. Die Waſſertropfen oscilliren hier nicht, ſondern jeder folgt, indem er ſich fortbewegt, ſeiner eigenen Wurfbahn, welche ihm im Augenblicke ſeines Austrittes aus der Röhre, durch die Lage derſelben, vorgeſchrieben wurde.

regt wurden, haben, an'ſ Ufer gelangen, ſo behalten ſie doch während der Annäherung zum Lande, und lange, nachdem die Urſache ihrer Erregung aufgehört hat, eine Größe und Geſchwindigkeit, welche wir als konſtant für den kurzen Weg, den wir zu betrachten haben, anſehen können. Wir werden daher in allem Folgenden, und in den bezüglichen Figuren für die unbedeutende Länge einiger Wellen vor dem Ufer, oder vor den Bauwerken annehmen, daß die Wellenberge und Wellenthäler eines und desſelben einfachen Wellenſyſtems unter ſich gleich ſeien. Was liegt daran, die Aenderung der Kraft zu kennen, welche die Wellen vom Orte ihrer Erregung bis zum Ufer erleiden? Wichtiger iſt's zu wiſſen, welche Kraft ſie beſitzen, wenn ſie die, ihnen entgegen geſtellten Bauwerke treffen. Aber dieſe Kraft iſt nichts weniger, als beſtändig, im Gegentheile ſehr veränderlich, weil ſie abhängt von den Winden, von der Zeit, während ſie nach einer Richtung blaſen; endlich von dem Ungeſtüm und der Entfernung der Stürme, ohne zu rechnen, daß eine Anzahl von örtlichen Verhältniſſen oft dazu beiträgt, die Wuth der Wogen zu vermehren oder zu beſänftigen.

9. Wir ſehen, daß Bauwerke vom Meere zerſtört worden ſind, obgleich man nichts geſpart hat, und auch kein Fehler oder keine Nachläſſigkeit der Ausführung bemerkt werden konnte; wir haben ſelbſt geſehen, daß ihre Maſſen nicht erſchüttert wurden, ſondern daß nur die Verkleidung allein gelitten hat; wir müſſen daraus den Schluß ziehen, daß es weniger nöthig ſei, der Kraft der Wellen oder einer eigenthümlichen Art ihrer Wirkung zu widerſtehen, als vielmehr ohne Beeinträchtigung der Vollkommenheit des Baues künftig hin vorzüglich durch die Geſtalt der Bauwerke den Wirkungen der Wellen Widerſtand zu leiſten.

Zweites Kapitel.

Theorie der laufenden Wellen, wie ſie bis jetzt angenommen wurde.

10. Diejenigen, welche ſich mit den Erſcheinungen bei Wellenbewegungen beſchäftiget haben, ſtellten als Grundſatz auf, daß die Waſſerelementchen während der Schwankung ihre Oscillationen nur in einer Vertikalen vollbringen. Ich will zuerſt von jener Theorie ſprechen, wo dieſer Grundſatz mit aller Strenge vorausgeſetzt wurde, wie es de la Coudraye, Brémontier und andere Gelehrte thaten; wir werden im nächſten Kapitel ſehen, welche Zuſätze oder Veränderungen diesfalls nöthig ſind, um eine vollſtändige Wellentheorie zu begründen.

11. Es ſei in der Figur 2, welche einen vertikalen Durchſchnitt vorſtellt, die Linie **O R** der Spiegel einer ruhigen Waſſermaſſe. Es ſei ferner **A B C D E F G** das Profil einer Wellenſchwankung, wenn man ſie durch eine vertikale Ebene nach der Richtung, wohin ſich die Wellen fortpflanzen, ſchneidet. Es wird vorausgeſetzt, daß die Waſſerelementchen von was immer für einer Vertikalen **M N**, ohne von ihr abzuweichen, nur in dieſer oscilliren, daß ihnen die Bewegung durch die, in der nachbarlichen Vertikalen **M N** oscillirenden Theilchen mitgetheilt werde, ſo wie ſie dies ſelbſt auf jene der Vertikalen **M N** übertragen, ſo zwar, daß in Folge der Kohäſion und Reibung ſich die Bewegung ohne Unterlaß von **O** nach **R** in der ganzen Waſſermaſſe fortpflanzet und erhält, und daß jedes Theilchen nur in der, ihr zugehörigen Vertikalen oscillirt. Da dieſe Bewegung nicht augenblicklich in allen Senkrechten zugleich ſich mittheilet, ſondern allmälig von einer zur andern übergeht; ſo folgt daraus, daß die Elementchen der Vertikalen **M N** zur beſtimmten Höhe und Tiefe erſt gelangen, nachdem

jene der Vertikalen m n bereits dieſe Höhe und Tiefe erreicht haben, und bevor die Elemente der Vertikalen m′ n′ zu dem gleichen Niveau kommen; hierdurch geſchieht es, daß für einen gegebenen Zeitmoment die Elementchen der Waſſeroberfläche, welche im Zuſtande der Ruhe mit der Linie O R zuſammen fielen, ſich während der Wellenſchwankung auf verſchiedenen Höhen befinden, und eine Schlangen- oder Wellenkrümmung A B C D E F G bilden, daß in den nächſt folgenden Zeittheilen dieſelben Elementchen allmälig in die ähnlichen Krümmungen A′B′C′D′E′F′G′, A″B″C″D″E″F″G″, A‴B‴C‴D‴ E‴F‴G‴ übergehen, bis ſie wieder in die erſte Stellung zurückkehren, und mit der Krümmung A B C D E F G die Oscillation auf's Neue beginnen. Auf dieſe Art durchlaufen während einer Periode die Elementchen alle Punkte der Höhe und Tiefe, in der ihnen zugehörigen Vertikalen.

Dieß iſt genau die Theorie, welche aus den Erklärungen von de la Coudraye und Brémontier folgt, und welche den Berechnungen der Gelehrten zum Grunde gelegt wurde.

12. Brémontier glaubte ſeine Theorie der vertikalen Oscillationen durch ſeine Beobachtungen hinlänglich beſtätiget. Er ſagt: „In einem ſehr tiefen Meere, wo die Wellen ohne „Hinderniß ſich frei bewegen können, zeigt ein Korkſtöpſel, ein „Siegellackkügelchen, ein Stück Holz, und jeder auf den Wel- „len ſchwimmende Körper keine andere Bewegung, als die „von oben nach unten, und von unten hinauf; und wenn er „ſich ein wenig von der Vertikalen entfernt, ſo iſt's nur für „einen Augenblick; er kehrt ſtets wieder auf ſeine vorige Stelle „zurück... Dieſe leichte Verrückung iſt nichts Anderes, als die „Wirkung der Schwere jenes Theils vom ſchwimmenden Kör- „per, welcher über dem Waſſer ſteht, und herabzufallen ſtrebt, „auch wirklich herabfällt; aber dieſe kleine Abweichung beein- „trächtigt nicht die Wahrheit des Grundſatzes. — Wenn man „einen Körper in's Meer wirft, deſſen ſpecifiſche Schwere nur

„wenig größer iſt, als jene des Waſſers, ſo wird er um ſo lang-
„ſamer untergehen, je kleiner der Unterſchied der beiden Schwe-
„ren iſt, aber ſtets in einer Vertikalen.“ Dieſe, von Bré-
montier angegebenen Erſcheinungen hält er für hinreichend,
um hieraus den Schluß zu ziehen, „daß alle Elementchen, aus
„welchen eine Welle beſteht, und welche unter ſich im voll-
„kommenen Gleichgewichte ſtehen, nur vertikal auf- und abſtei-
„gen, ohne in ihrer Geſammtheit weder eine Verrückung von
„der Vertikalen, noch in Beziehung auf die Oberfläche zu er-
„leiden... er folgert noch, daß, wenn man von einem feſten
„Punkte aus, an einem Faden einen Stock, der ſich ſtehend
„im Waſſer erhalten kann, hinabhängen läßt, dieſer ſicher kei-
„ner andern Wirkung ausgeſetzt iſt, als jener der Reibung des
„Waſſers, indem es ſich erhebt oder herunterſinkt, und daß
„ihm nur durch eine Strömung eine Bewegung mitgetheilt
„werden könnte... ferner, daß, wenn man ſtatt des Stockes
„eine ſenkrechte Mauer ſich denket, die über die Gipfel der
„höchſten Wellen reichet, derjenige Theil dieſer Mauer, wel-
„cher ſich unter den Wellenthälern befindet, daher ſtets un-
„term Waſſer bleibt, auch keiner andern Anwirkung, als der
„Reibung durch die, ſich ſenkrecht bewegenden Wellen, wie der
„Stock, ausgeſetzt ſeyn würde.“

Die Beobachtungen, die gegebenen Erklärungen und die Schlußfolgen Brémontier's ſind nicht richtig.

13. Ich will zuerſt ein, täglich unter Jedermanns Augen ſich ergebendes Phänomen bemerklich machen, welches beweiſet, daß benetzbare, ſchwimmende Körper auf der ſchiefen Oberfläche einer Flüſſigkeit ſich hinauf bewegen, ſtatt herab zu gleiten *). Die Bewegung des Korkſtöpſels, welche Brémontier

---

*) Wenn man ein Gefäß von kleinem Durchmeſſer mit ſo viel Waſſer anfüllt, als ſich nur über den Rändern, ohne überzu-laufen, erhalten kann (Figur 7) und dann einen, ſpecifiſch

beobachtet hat, muß daher einer andern Urſache, als der Schwerkraft zugeſchrieben werden, und beweiſet nichts in Beziehung auf ſeine Theorie. Wir werden im nächſten Kapitel (28) die Urſache dieſer Bewegung kennen lernen.

14. In Betreff der geradlinigen und vertikalen Bewegung der Körper, welche durch einen geringen Ueberſchuß von ſpecifiſcher Schwere im Waſſer herabſinken, hat Brémontier ſicher nicht gut beobachtet, oder der Verſuch fand bei ſehr kleinen Wellen Statt. Es iſt ſehr ſchwer, dieſen Verſuch mit Genauigkeit bei großen Wellen im freien Waſſer anzuſtellen, weil es an einem feſten Punkte für den Beobachter, und an einer Richtſchnur für die Beobachtungen ſelbſt fehlt. Es mag übrigens die Bewegung eines, im Waſſer hinabfallenden Körpers welche immer ſein, ſo wird es ſehr ſchwer halten, ſeinen

---

leichtern Körper b auf die Oberfläche des Waſſers bringt, wird er durch ſeine Leichtigkeit empor gehoben, und ſtellt ſich auf den Scheitel der Convexität. Auf gleiche Weiſe legen ſich in Folge dieſer Leichtigkeit Luftbläschen und andere ſchwimmende Körper, Fig. 8, an die Wände des Gefäßes, indem ſie auf die Oberfläche der Flüſſigkeit, welche ſich an den Wänden erhebt, empor ſteigen, ſich aber alſobald entfernen, wenn man die Oberfläche durch Hinzugießen von Flüſſigkeit, oder durch eine hinlängliche Neigung des Gefäßes, Fig. 9, convex macht. Körper, welche ſich nicht benetzen laſſen, gleiten, wenn ſie auch ſpecifiſch leichter ſind, als die Flüſſigkeit, im Gegentheile, ſtatt ſich auf die Convexität zu erheben, wie auf der ſchiefen Fläche eines feſten Körpers abwärts. So laufen Kügelchen von Holz, Eiſen, Wachs, Marmor, ſelbſt von geblaſenem Glaſe zur tiefſten Stelle einer Queckſilber-Oberfläche, während Kügelchen von Kupfer oder Silber ſchwimmend den Scheitel der Convexität ſuchen. Die Fig. 10 zeigt einen Waſſertropfen auf einer ſolchen Fläche, welche ihn zwingt, ſeine ſphäroidiſche Geſtalt beizubehalten; ein in x aufgelegter kleiner Körper ſtellt ſich ſogleich auf den Scheitel b. In der Fig. 11 hängt ein Tropfen an einem Körper; ein

Weg zu beobachten, weil wegen der Beweglichkeit der Wellen die Strahlenberechnung ſich in jedem Augenblicke ändert.

15. Die krumme Linie, welche die Geſtalt der Wellen unter der Vorausſetzung der ſtreng vertikalen Oscillation darſtellt, ſo wie ſie de la Coudraye, Brémontier und mehrere Gelehrte annehmen, iſt die Throcoide oder die Schlangenkrümmung, welche auch für den, von la Place abgehandelten Fall paßt *). Eine vertikale Ordinate dieſer Curve iſt gleich dem Coſinus, eines, mit der horizontalen Abſciſſe, proportionalen Bogens, oder in der angenommenen Vorausſetzung, wenn die Linie **O R**, Fig. 1, den ruhigen Waſſerſpiegel und **ABCDEFG** den Durchſchnitt einer Wellenbewegung vorſtellt, ſo ſind die, in gleichen Abſtänden auf der Abſciſſen-Linie **O R** gezogenen Ordinaten **T D**, **PM**, **P′M′**, **P″M″**, **K C**, **QN**, **Q′N′**, **Q″N″** gleich oder proportional den Ordinaten **SB**, pm, p′m′, p″m″, **SL**, pn, p′n′, p″n″, welche gleichen Theilen des Umfanges vom Kreiſe **BHL** entſprechen, deſ-

kleines benetzbares Kügelchen erhebt ſich auf der Oberfläche, und gewinnt den Rand c; läßt ſich das Kügelchen nicht benetzen, ſo haftet es auch nicht am Waſſertropfen; läßt ſich das Kügelchen benetzen, iſt aber ſpecifiſch ſchwerer, als das Waſſer, ſo hängt es ſich an, bleibt aber auf dem unterſten Punkt d ſtehen. Dieſe Erklärung der Bewegung kleiner Körper auf den krummen Oberflächen der Flüſſigkeiten iſt enthalten in einem Aufſatze von Monge, über die ſichtbaren Anziehungen und Abſtoßungen in den **Mémoires de l'Academie des Sciences** von 1787. Das, was alſo Brémontier in Beziehung auf leichte, auf der Oberfläche des Meeres ſchwimmende Körper anführt, iſt demnach nicht richtig, und dieſe Körper hätten empor ſteigen ſollen, ſtatt herabzufallen, wenn die beobachtete Bewegung nicht von einer andern Urſache bewirkt worden wäre.

*) Recherches sur plusieurs points du systeme du monde, par M. de la Place. 2me mémoire; Recueil de l'Academie des Sciences, année 1776; et mémoire de M. Poisson, déjà cité.

ſen Halbmeſſer gleich iſt der Höhe der Wellenberge, oder der Tiefe der Wellenthäler, in Bezug auf die Linie O R. Die Wellenberge und die Wellenthäler ſind daher von gleicher Geſtalt, und die Throcoide nichts Anderes, als die Projection einer Schraubenlinie, auf eine, mit der Achſe des Cylinders, um welche die Schraube geführt iſt, parallele Ebene; die Grundfläche dieſes Cylinders iſt gleich dem Kreiſe BHL.

Die Throcoide, welche der Vorausſetzung vertikaler Oscillation entſpricht, weicht aber ſehr von der wirklichen Form der Wellen ab, wie man es im nächſten Kapitel ſehen wird.

Drittes Kapitel.

Neue Wellentheorie.

16. Das Beſtreben der Flüſſigkeiten, ſich, in Folge der Wirkung der Schwere, horizontal und in Ruhe zu ſtellen, hat zu dem Glauben Veranlaſſung gegeben, daß während einer Wellenſchwingung die Waſſerelementchen gerade und vertikale Linien beſchreiben; aber es iſt gewiß, daß ſie ganz andern Bahnen folgen; und die ſtreng vertikale Bewegung, welche als eine nothwendige Vorausſetzung betrachtet wurde, um das Problem dem analytiſchen Kalkül unterziehen zu können, widerſpricht ſogar der Erklärung der Haupterſcheinungen bei Wellen.

Herr de la Coudraye und Brémontier ſtellen ſich vor, daß, weil das Waſſer nicht zuſammendrückbar ſei, eine vertikale, und in Maſſe herabfallende Welle eine gleiche Anzahl Waſſertheilchen ſteigen mache, wodurch die neue Welle gebildet wird. Letzterer ſchloß nichts deſtoweniger weiter, daß alle Elementchen, aus welchen eine Welle beſteht, und welche untereinander in vollkommenem Gleichgewichte ſind, vertikal

und in Maſſe ſich erheben und herabfallen, ohne im Gering=ſten, weder in Beziehung auf die Oberfläche, noch in Bezie=hung auf die Vertikale eine Verrückung zu erleiden. Er wie=derholt ſelbſt, daß man niemals vergeſſen dürfe, die Bewe=gung der Welle ſei bloß vertikal.

17. Um jedoch dieſen Grundſatz zuzugeben, müßte das Waſ=ſer ſehr zuſammendrückbar ſeyn, und es wäre nöthig, daß alle Elementchen in unendlicher Tiefe eines Meeres dieſelben Oscillationen vollbringen, wie an der Oberfläche. Die Bewe=gung kann aber nicht bis zur unendlichen Tiefe fortgepflanzt werden, weil die Tiefe des Meeres nicht unendlich iſt, oder wollte man ſie im Vergleich mit den Oscillationen der Wel=len ſo betrachten, ſo bleibt nichts Anderes übrig, als zuzuge=ben, daß das Maß der Bewegung in der Tiefe eine ſehr kleine Größe ſein müſſe. Auf dieſe Art ergibt ſich, daß die Nicht=zuſammendrückbarkeit des Waſſers, und die geradlinige und vertikale Bewegung der Elementchen zwei, mit einander unver=einbarliche Annahmen ſind *).

18. Brémontier und de la Coudraye erzählen That=ſachen, wornach man nicht zweifeln kann, daß die Bewegung der Wellen noch auf ſehr bedeutende Tiefen merklich ſei. Auf der Bank von Terre neuve wie ich es ſpäter erzählen werde, (52) reicht ſie noch mehr als 500 Schuh in die Tiefe. Dies zeigt den Irrthum derjenigen, welche den unzuverläſſigen Aus=ſagen der Taucher Glauben beimaßen, oder einzelne Fälle als allgemein gültig annahmen, daß bei den heftigſten Stürmen auf mehr als 15 Klaftern unter der Meeresoberfläche vollkommene

*) Es handelt ſich hier um die Unzuſammendrückbarkeit des Waſ=ſers in dem Sinne, wie ſie die Phyſiker annehmen, d. h, daß das Waſſer ſich nicht merklich zuſammenpreſſen läßt, außer durch einen ungeheuren Druck, dem es innerhalb der Gränzen der Wellenbewegung niemals ausgeſetzt ſein kann.

Ruhe herrſche. Es gibt ſelbſt ſolche, die wie Boyle *) angenommen haben, daß ſich die Oscillationen nur auf ſehr geringe Tiefen mittheilen, und daß der Wind auf das Waſſer des Meeres in größerer Tiefe als 6 Schuh nicht unmittelbar einwirken könne. Belidor **) glaubte, daß tiefer als 12 bis 15 Schuh die Bewegung wenig merklich, und auf 24 bis 25 Schuh ſo ſchwach ſei, daß ſelbſt die kleinen Steine einer Vorſchüttung nicht verrückt werden. Herr de Ceſſart ***) und die Ingenieurs bei den Bauten in Cherbourg ſcheinen Anfangs gleicher Meinung geweſen zu ſein; indeſſen haben ſie ſpäter bemerkt, daß 14 Schuh unter dem Niveau des niedrigſten Meeres, die Steine am Damme von ihrer Stelle gerückt wurden ****). Dieß alles beweiſet aber nur, daß die Bewegung weder nur bis in ſehr kleine Tiefe merklich, noch ganz ohne Gränzen ſei.

19. Die Wirkung einer Kraft ſchwächt ſich durch die Fortpflanzung; wir haben hiervon den Beweis bei der Verbreitung des Schalles, des Lichtes, und ſelbſt bei jener der Waſſerwellen, die, je weiter vom Orte, wo ſie erregt wurden, ſtets kleiner, endlich unſichtbar werden; daher kommt es, daß in der offenen See heftige Stürme ausbrechen können, ohne daß deßwegen nahe am Ufer die Ruhe geſtört werden müßte. Man ſollte glauben, daß dieß in vertikaler Richtung eben ſo ſei, wie in horizontaler, um ſo mehr, weil man nicht zugeben mag, daß Wellen von einigen Zollen Höhe bis in eben ſo große Tiefe wirken könnten, als die entſetzlichen Wogen, die man

*) Dictionnaire des sciences naturelles, par les professeurs du jardin du Roi. Tom 35. art: Océan.

**) Architecture hydraulique II. partie. Liv. 3. p. 172.

***) Tome 2. pag. 193 et 330.

****) Rapport de la Commission de 1792 sur les travaux de Cherbourg.

mit Bergen vergleicht, und wovon eine einzige oft hinreicht, daß zwei große, ganz nahe an einander befindliche Schiffe ſich aus den Augen verlieren, indem ſie ſich dazwiſchen wälzt *).

20. Alles ſpricht dafür, daß die Wellenbewegung auch abwärts eine Gränze haben müſſe, die nur von der, mehr oder weniger heftig beunruhigten Oberfläche, nicht aber von der Tiefe des Waſſers abhängig iſt, und daß ferner die Bewegung allmählig von der Oberfläche bis zur Gränze, wo ſie Null wird, abnehmen muß.

Dieſe Gränze muß ſich der Oberfläche der Flüſſigkeit nähern, je nachdem die Wellen ſchwächer werden, und mehr entfernt ſind von dem Orte, wo ſie erregt wurden. Aber für unſern Fall, wo nur eine ſehr kurze Reihe von Wellen, die als gleich groß angenommen werden können, in Betracht gezogen wird, ſetzen wir voraus, daß die Gränze der Bewegung in der Tiefe eine ebene, horizontale Fläche ſei.

21. Es ſei in einem, mit der Richtung der Wellenbewegung parallelen Profile die Linie **TU**, Fig. 3, eine horizontale, gleich weit von der Höhe der Wellenberge und der Tiefe der Wellenthäler abſtehende Ebene; **OR** der ebene Spiegel des ruhigen Waſſers; **ABCDEFG** das Profil einiger Wellen von gleicher Größe für einen gegebenen Zeitmoment; **or** endlich die horizontale Ebene als Gränze der, in die Tiefe ſich mittheilenden Wellenbewegung. Unterhalb dieſer Gränzlinie iſt keine Spur der, darüber vorgegangenen Erregung merkbar; das Waſſer iſt in vollkommener Ruhe.

---

*) Man hat geſucht, die Höhe der Wellen zu meſſen, und behauptet, daß die größten nicht mehr als 2 Klaftern über den tiefſten Punkt ihres Wellenthales reichen. Viele Seeleute behaupten, weit größere Wogen geſehen zu haben, und Hr. de la Coudraye theilt ein Täfelchen von Hrn. Goimpy mit, worin Wellen von 40 Fuß Höhe und mehr als viermal ſo großer Länge verzeichnet ſind.

Die Oſcillation eines Elementchens D der Waſſeroberfläche iſt nicht eher vollendet, bis dasſelbe im Hinaufſteigen und im Herabſinken alle Stufen des Niveau-Unterſchiedes DZ durchlaufen hat, wozu es durch die Aufeinanderfolge des Wellenberges CDE und des Wellenthales XZY in der Vertikalen Dd genöthiget wird. Das Maß dieſer Oſcillation in vertikaler Richtung iſt demnach die Höhe der Welle DZ. Für ein anderes Elementchen d′ oder d″ derſelben Vertikalen, welches im Zuſtande der Ruhe ſich im Niveau o′r′ oder o″r″ befände, muß die Höhe der Oſcillation d′z′ oder d″z″ kleiner ſein, weil die Bewegung von der Oberfläche bis zur Gränze or, wo ſie Null iſt, abnimmt. Auf dieſe Art befinden ſich die, im Zuſtande der Ruhe auf dem Niveau o′r′, o″r″ liegenden Elementchen, während der Wellenſchwankung zu gleicher Zeit in den krummen Linien a′b′c′d′e′f′g′, a″b″c″d″e″f″g″, wenn die Elementchen des Waſſerſpiegels OR ſich in ABCDEFG befinden.

22. Die innern, auf verſchiedenen Tiefen der flüſſigen Maſſe ſich bildenden Wellen müſſen nothwendiger Weiſe dieſelbe Länge haben, wie jene der Oberfläche; denn das Geſetz der Bewegung mag ſein, welches es wolle, ſo müſſen die Elementchen, welche im Zuſtande der Ruhe ſich in vertikaler Richtung entſprechen, während der Bewegung allemal zu gleicher Zeit ſich erheben und hinabſinken. Die Wellen in verſchiedenen Tiefen unterſcheiden ſich daher nur durch die Höhen d′z′, d″z″ ihrer Wellenberge, und durch deren Krümmungen, die mit der Größe der Oſcillation von oben bis zur Gränze or, wo beide verſchwinden, abnehmen. Unterhalb dieſer Gränze gibt es keine Oſcillation mehr.

23. Das Abnehmen der Wellenhöhe im Innern der Flüſſigkeit zwiſchen der Oberfläche und der Gränzlinie der Bewegung in der Tiefe, könnte, bei Vorausſetzung vollkommen perpendikulärer Oſcillationen, nur durch die Zuſammendrückbarkeit

des Waſſers erklärt werden. Wir haben aber geſehen, daß dieſe bei den Erſcheinungen der Wellen nicht zuläſſig ſei. Die Waſſerwellen gehen alſo von der Geſtalt der Wellenberge in jene der Wellenthäler über, ohne daß das Waſſer zuſammengedrückt würde; und weil es ſicher iſt, daß an der Gränze o r völlige Ruhe herrſchet, dieſe alſo von keinem Elementchen der ſchwingenden Flüſſigkeit überſchritten werden könne, ſo muß durch eine horizontale Verrückung der, zwiſchen der Oberfläche und der Gränze o r enthaltenen, Elementchen, die ſich erhebende Waſſerwelle ihr Volumen zum Theil auf Unkoſten der ſich ſenkenden enthalten. Wir wiſſen aber auch eines Theils, (6.) daß die, durch die Schwingung bewegten Elementchen keine wirklich fortſchreitende Bewegung haben; anderer Seits kann ihre Schwingung nicht jener ähnlich ſein, welche in dem gebogenen Theile eines umgekehrten Hebers Statt findet, während das Waſſer in den vertikalen Armen oscillirt, denn es würde im Innern der Flüſſigkeit eine Verwirrung entſtehen, welche ſchlechterdings die Wellenſchwankungen aufheben müßte. Ueberdieß zeigt die Erfahrung, daß dieſe Art von Bewegung nicht Statt findet. — Auf welche Weiſe geſchieht demnach die horizontale Bewegung der Waſſertheilchen?

Dieß iſt die Frage, von der zu wünſchen wäre, daß ſie die Gelehrten in größter Allgemeinheit und ohne Vorausſetzungen zu löſen vermöchten. Ich will, in Erwartung einer analytiſchen Theorie, nach ganz einfachen Betrachtungen den Mechanismus der Wellen auseinanderſetzen, und werde, ohne jene Schärfe zu erreichen, die nur dem Kalkül zukommt, alle Phänomene bei Wellen, was bisher nicht möglich war, vollkommen erklären.

24. Wenn wir uns in der Fig. 3 einen Ausſchnitt der ruhigen Waſſermaſſe denken, welcher zwiſchen den beiden, auf das vorgeſtellte Profil ſenkrechten Ebenen M N und M N enthalten iſt, ſo kann während der Wellenbewegung das Volumen

dieſes Ausſchnittes, da das Waſſer nicht zuſammendrückbar iſt, ſich allein in Beziehung auf ſeine Form verändern. Seine Verlängerung bis zum höchſten Punkte der Welle m m kann nur auf Unkoſten ſeiner Dicke erfolgen, d. h., wenn ſich die, in dem Ausſchnitte enthaltenen Elementchen in vertikaler Richtung entfernen, ſo müſſen ſie ſich in horizontaler nähren: und weil dieſe horizontalen Annäherungen um ſo größer ſind, je größer die vertikale Entfernung der Elementchen iſt, und dieſe um ſo größer wird, je größer die Weite der Oscillationen, oder je kleiner die Tiefe des Waſſertheilchens unter der Oberfläche iſt: ſo folgt daraus, daß der Ausſchnitt nach oben zu ſchmäler wird, indem er ſich, um den höchſten Punkt der Welle zu erreichen, verlängert, und daß dieß Schmälerwerden mit der größern Verlängerung zunimmt, während auf der Gränzfläche o r keine Verlängerung vorkommen kann. Im Augenblicke der größten Verlängerung hat daher der betrachtete Ausſchnitt die Geſtalt N m D m N.

Das Niedrigerwerden dieſes Ausſchnittes bis zur größten Tiefe des Wellenthales m′ m′ verurſacht eine Vermehrung der Dicke, indem ſich die Elementchen in horizontaler Richtung aus einander begeben, in vertikaler zuſammenziehen. Der Ausſchnitt nimmt in ſeinem niedrigſten Zuſtande die Geſtalt N m′ Z m′ N′ an.

In beiden Fällen berühren die Linien N m, N m und N m′, N m′, welche den Ausſchnitt der Flüſſigkeit im Zuſtande ſeiner größten Verlängerung und größten Verkürzung zwiſchen ſich faſſen, in den Punkten N und N die Linien M N„ M N, welche die gleichförmige Dicke des Ausſchnittes im Zuſtande der Ruhe angeben, denn auf der Gränzfläche o r haben die Elementchen keine Bewegung und die Dicke N N dieſes Ausſchnittes bleibt im Niveau dieſer Oberfläche unverändert und der Uebergang von der Bewegung zur Ruhe kann nur allmählig geſchehen.

Gleiche Formveränderungen ergeben ſich unter denſelben Umſtänden bei allen Ausſchnitten, die man ſich für den Zuſtand der Ruhe zwiſchen zwei vertikalen Ebenen eingeſchloſſen denken mag, ſo, daß die ganze unendliche Zahl der Ausſchnitte, in welche man die Flüſſigkeit zertheilt annehmen kann, nach und nach, und in beſtimmter Ordnung, die nemlichen Formen der größten Erhebung und Erniedrigung erreichen. — Zwiſchen dieſen zwei Extremen durchlaufen die Ausſchnitte die zwiſchen liegenden Zuſtände und Geſtalten; und weil ſie bei ihrer Bewegung ſich weder trennen, noch eine Leere laſſen können, ſo unterſtützen ſie ſich wechſelſeitig. Ihre Bewegungen und Formveränderungen ſind einander untergeordnet, und ſie biegen ſich, eine über der andern, indem ſie auf beiden Seiten eines Wellenthales divergiren, gegen den Gipfel einer Welle aber konvergiren. Jene Ausſchnitte, welche den höchſten und niedrigſten Punkten der Welle entſprechen, ſtehen allein in dem Augenblicke, wo ihre Scheitel dieſe Maxima berühren, vertikal, ſo, daß während einer Wellenſchwingung jeder Ausſchnitt, indem er ſeine Länge und Dicke wechſelt, ſich alternative von der abgegangenen zur kommenden Welle und umgekehrt neigt. Auf dieſe Weiſe verlängern ſich, in dem, durch die Figur dargeſtellten Zeitmomente, die den Räumen bc, de, fr, der Gränzlinie o r entſprechenden Ausſchnitte, während jene ſich verkürzen, die ob, cd, ef angehören.

25. Es folgt daraus, daß die Elementchen, welche im Zuſtande der Ruhe in der Vertikalen dS liegen, und ſich während der extremen Oscillations-Zuſtände von d nach D, und von d nach Z vertheilt befinden, ſich in den Zwiſchenzuſtänden nach den Kurven dx, dy, anfangs dem kommenden Wellenberge X, und hernach demſelben Wellenberge, wenn er in Y angelangt iſt, entgegen neigen. Aber ſie können nicht von der Lage dZ zu Lage dD übergehen, ohne zugleich die Lagen dx und dy durchlaufen zu haben; auf dieſe Art ſchwanket jedes Element-

chen der Oberfläche, indem es zu gleicher Zeit vom Niveau Z zum Niveau D oscillirt, von x nach y, und iſt gezwungen, eine Art Ellipſe x D y Z zu beſchreiben. Dasſelbe erfolgt nothwendiger Weiſe mit den, den Niveaus o′r′, o″r″ der nemlichen Vertikalen S d angehörigen Elementchen d′, d″ nur daß ſie, weil ihre Oscillations-Weiten in vertikaler Richtung, und ihre horizontalen Schwingungsweiten kleiner ſind, auch kleinere Ellipſen x′d′y′z′, x″d″y″z″ beſchreiben.

Man ſieht demnach, daß die Elementchen im Innern der flüſſigen Maſſe, eben ſo wie jene der Oberfläche, indem ſie neben einander vorbei laufen, während der Wellenbewegung Ellipſen beſchreiben, deren Größen von der Oberfläche bis zur Gränze o r (wo keine Ellipſe beſchrieben wird, weil keine Bewegung Statt findet) abnehmen.

Die Elementchen der Waſſeroberfläche, ſo wie von jedem andern Niveau, gelangen, indem ſie ſteigend und fallend ihre Bahnen beſchreiben, nur allmählig nach der Ordnung und in gleichen Zeiten zu denſelben Höhen. Welches auch ihre Geſchwindigkeit und die Natur der Bahnen ſei, die übrigens nothwendiger Weiſe geſchloſſene, und, für dieſelben Niveau's, gleiche Kurven ſein müſſen *): ſo ſind dieſe Theilchen an den Oberflächen in einer cykloidiſchen Kurve an einander gereihet, wie dieß die, für einen gegebenen Zeitmoment den Wellendurchſchnitt darſtellende Figur für den Waſſerſpiegel durch die Linie A B C D E F G und für die Niveau's o′r′, o″r″ in den Linien a′b′c′d′e′, a″b″c″d″e″ zeigt.

26. Um die Fig. 3 leichter zu konſtruiren, habe ich die Länge einer Welle A C als Abſciſſen-Linie in gleiche Theile

---

*) Für den Fall, daß die Wellenbewegung allmählig ſchwächer wird, ſind die Bahnen Spirallinien, deren Geſtalt von jener der geſchloſſenen Bahnen und von dem Geſetze abhängig iſt, nach welchem die Bewegung abnimmt.

getheilt, und auf die Ordinaten, die großen Axen elliptiſcher Bahnen gelegt, welche gewiß von den wirklichen Bahnen entweder gar nicht oder ſehr wenig verſchieden ſind. Ich habe dieſe Bahnen in gleiche, oder den Abſciſſen proportionale Bogen getheilt, und die krumme Linie der Wellenoberfläche durch jene Puncte der Bahnen gezogen, welche mit derſelben Ziffer bezeichnet ſind, als die Ordnungszahl ihrer Bahn. Auf dieſe Art geht die Kurve in jedem Niveau bei der erſten Bahn durch Nr. 1, bei der zweiten durch Nr. 2, bei der dritten durch Nr. 3 u. ſ. w. Dieſe Cykloide kann nur ſehr wenig von dem wirklichen Profil der Wellen abweichen, wenn ſie damit nicht vollkommen identiſch iſt. Es iſt leicht wahrzunehmen, daß die vertikale Axe dieſer Bahnen größer iſt, als die horizontale; denn wären die Axen gleich, ſo ſind die Bahnen Kreiſe, und es fallen die Wellenberge in Vergleich mit den, am häufigſten beobachten Wellen, deren Länge vier- bis fünfmal größer iſt, als die Höhe, zu ſpitz aus; nimmt man gar an, daß die horizontale Axe größer ſei, als die vertikale, ſo zeigt das Profil eine abſurde Figur *).

27. Aus der elliptiſchen Bahnbewegung der Waſſertheilchen, und der Erzeugung der Cykloide, welche das Profil der Wellen darſtellet, ergibt ſich, daß die Halbmeſſer der Krümmung für die Wellenberge kleiner ſeien, als jene für die Wellenthäler; es mag übrigens das Geſetz der Geſchwindigkeit bei der Bewegung der Elementchen ſein, welches es wolle. Da das Volumen der, durch den Wellenberg erhobenen Waſſermenge gleich ſein muß, der, durch das Wellenthal gebildeten

*) Bei den Verſuchen der Herren Weber ſind zwar die horizontalen Axen größer beobachtet worden, als die vertikalen, aber die wellenerregende Kraft wirkte auch ganz anders, als es im Meere der Fall iſt. (Wellenlehre, auf Experimente gegründet, von den Gebrüdern Ernest Heinrich Weber und Wilhelm Weber. 1835. p. 136.) D. Ü.

Leere, ſo muß die Fläche **PBK** oder **JDF** auch gleich ſein der Fläche **FEL** oder **KCJ**, und es folgt daraus, daß die Linie **OR**, welche den Spiegel der ruhigen Waſſerfläche vorſtellt, nicht genau in der Mitte zwiſchen den Wellengipfeln und den tiefſten Punkten des Wellenthales liege, und daß die Wellenberge ſich höher über die Oberfläche des Meeres **OR** erheben, als ſich die Wellenthäler unter dieſelbe hinabſenken, d. h., daß der Pfeil **CG** des Wellenthales kleiner ſei, als jener **SD** des Wellenberges. Dieſes Reſultat iſt der gewöhnlichen Meinung ganz entgegen, eben ſo wie die, die Wellenſchwankung vorſtellende Kurve nach der neuen Theorie weſentlich verſchieden iſt von jener, durch welche man bis jetzt die Wellen darſtellte. Aber dieſe größere Erhebung der Wellenberge, im Vergleich mit der Vertiefung der Wellenthäler, ſo wie die cykloidiſche Geſtalt der Wellen, Fig. 3, ſind ganz übereinſtimmend mit dem Anblick der bewegten Meeresoberfläche *) und es dient dieſe Uebereinſtimmung zur Beſtätigung, daß die Bewegung der Waſſerelementchen während der Wellenſchwankungen in elliptiſchen Bahnen Statt finde. Einige, im nächſten Kapitel zu beſchreibende, Thatſachen werden neue Beläge zur Beſtätigung dieſer Wahrheit geben.

28. Es iſt ohne Zweifel der Bahnbewegung zuzuſchreiben, daß ein ſchwimmender Körper, z. B. ein Korkſtöpſel, ſo wie es Brémontier beobachtet hat (12), von der Vertikalen abweicht. Der leichte Körper wird durch die Elementchen, die ihn umgeben, von der Vertikalen abgeführt und wieder auf ſie zurückgebracht, und es iſt die Bahnbewegung bei ſtarken Wellen ſo merklich, daß, wenn man aufmerkſam und nahe genug zu beobachten Gelegenheit hat, man mit dem Auge

*) Bei Wellen, deren Länge gleich iſt der vier- oder fünffachen Höhe, beträgt die kleine Axe der Bahn für ein Elementchen der Oberfläche höchſtens die Hälfte der großen Axe.

den Bahnen folgen kann, die die Elementchen der Oberfläche und kleine ſchwimmende Körper beſchreiben.

29. Durch die Wirkung des Druckes, welche der Wind auf die Seitenflächen der Wellen ausübt, nehmen dieſe eine geneigte Geſtalt an, Fig. 4, die, durch die Elementchen gebildeten, Waſſerfäden neigen ſich dann mehr nach der Seite R als nach O, die Bahnen derſelben werden ſchief, wie B L, C′X′, die hiernach entſtandene Wellenkrümmung ABCDE iſt eine geneigte Cycloide, und dies iſt die Geſtalt, welche die Wellen ſtets bei Stürmen annehmen. Die Bahnen der Elementchen im Innern der flüſſigen Maſſe ſind in der Figur nicht vorgeſtellt, ſie ſind aber gleichfalls ſchief; doch wird dieſe Aenderung von der Waſſeroberfläche, nach unten zu, immer unbedeutender, weil die zufällige Wirkung des Windes, welche die Wellen niederlegt, ſich nur auf eine geringe Tiefe erſtreckt. Die Gränze, bis zu welcher ſich die Bahnen neigen, liegt gewöhnlich höher, als jene der Bewegung o r, Fig. 3.

Brémontier hat dieſe Geſtalt der Wellen beobachtet, und ſelbſt auf der erſten Kupfertafel eine Abbildung gegeben, aber er hat ſich getäuſcht, indem er ſie als eine Folge der zuſammengedrängten und vom Ufer zurückkehrenden Wellen anſah, denn man bemerkt liegende Wellen eben ſo gut in offener See, als an den Küſten.

30. Es bleibt noch übrig, die Natur der, von den Waſſerelementchen beſchriebenen, Bahnen, das Geſetz der Geſchwindigkeit, mit welcher ſich die Waſſertheilchen in dieſer Bahn bewegen, endlich jenes der Größenabnahme dieſer Bahnen in der Tiefe der Flüſſigkeit, ſtreng zu erörtern und feſtzuſtellen. Doch, es kommt der analytiſchen Mathematik zu, Schwierigkeiten von ſo großer Bedeutenheit, wie ſie dieſe Fragen mit ſich bringen, aufzulöſen. Für den Zweck, welchen ich mir vorgeſetzt habe, iſt ihre Löſung nicht gerade unumgänglich nöthig.

31. Newton bemerkte, daß die Reſultate, zu welchen er in Beziehung auf die Geſchwindigkeit der Wellen gelangt iſt, nur in der Vorausſetzung, wenn die Waſſerelementchen in geraden Linien auf- und abſteigen, genau ſein können; da aber die Aufſteigung und das Niederſinken im Kreiſe (per circulum) ſtattfinde, ſo ſei die Geſchwindigkeit der Wellen nur annäherungsweiſe beſtimmt *). Auch Laplace bemerkte, daß die Waſſerelementchen eine horizontale Oscillation haben, aber er ſpricht davon nur ſehr kurz **), und nichts deſto weniger ſind die andern Gelehrten ***) doch dabei geblieben, bei der Wellenbewegung einer Flüſſigkeit nur ſtreng vertikale Oscillation vorauszuſetzen, und man nahm bis jetzt keine Rückſicht auf die wirklich ſtattfindenden horizontalen Oscillationen, wodurch die Bahnbewegung, welche das größte Licht über die, von den Wellen abhängigen Phänomene verbreitet, hervorgebracht wird.

Viertes Kapitel.

Erklärung verſchiedener Erſcheinungen bei Wellen.

32. Die Bahnbewegung der Waſſerelementchen in den Wellen gibt auf eine ſehr einfache Weiſe Aufſchluß über verſchiedene Erſcheinungen, welche alle Seeleute beobachtet haben, die aber noch Niemand vollſtändig erklärte.

Die erſte iſt die Gleichzeitigkeit verſchiedener Wellenſyſteme.

---

*) Philosophiae naturalis principia mathematica. Prop. XLII. prob. X.

**) Mémoires de l'Académie des Sciences. 1776.

***) Verſteht ſich in Frankreich; denn Gerſtner ſchrieb ſchon im J. 1804 ſeine Theorie der Wellen- und Teich-Profile. D. Ü.

Die zweite iſt das Zurückwerfen der Wellen von den Oberflächen feſter Körper.

Die dritte Erſcheinung iſt das Brechen gleicher, ſich begegnender Wellen, und die ſtehende oder Klappenſchwingung (clapotage).

Die vierte iſt das Zurückſtoßen der Wellen (ressac) und ihre Verkürzung in engen Meeren.

Die fünfte endlich iſt das Kräuſeln der Wellen.

1. Gleichzeitige Wellenbewegungen.

33. Die Gleichzeitigkeit der Wellen, welche entweder nach einer und derſelben, oder nach verſchiedenen Seiten ſich verbreiten, iſt nach der Theorie der vertikalen Oscillation unerklärlich; denn es iſt unmöglich, das Geſetz der Geſchwindigkeit bei einer geradlinigen, und ſo ſehr abwechſelnden Bewegung, wie ſie bei den drei-, vier-, fünffachen ꝛc.... Schwingungen Statt findet, aufzufaſſen, während durch die Bahnbewegung die Erklärung ganz leicht wird, und der Mechanismus der Wellen eine Einfachheit zeigt, wie man ſie bei allen Erſcheinungen in der Natur bewundert.

34. Ich werde mit dem einfachſten Falle anfangen, wo zwei ungleiche Schwingungen nach einer Richtung hingehen. Es iſt derſelbe, deſſen Brémontier erwähnt, als er von jenen Wellen ſpricht, welche er auf ſogenannten ſtillen Wogen bemerkt hat, und von welchen er keine Erklärung gab. Es ſtelle in einem vertikalen, mit der Richtung der Wellenbewegung parallelen Querſchnitte, die Linie T U, Fig. 12, eine, gleich weit von den Wellengipfeln und den Wellenthal-Tiefen entfernte horizontale Ebene vor; O R die Oberfläche des ruhigen Meeres; a f k das Profil einer ſehr ſtarken Wellenbewegung; a′ b′ c′ d′ e′ f′ g′ h′ i′ k′ den Querſchnitt einer ſehr ſchwachen Wellenbewegung, beide für dieſelbe Oberfläche, und jede für ſich allein beſtehend; die Wellenbewegungen gehen in bei-

den Fällen von der Seite O aus. Ich nehme ferner an, daß fünf Wellen von den kleinen, einer großen entſprechen.

Es ſei ferner P Q in der Tiefe eine horizontale Ebene, unter welche hinab bei der größten Wellenbewegung keine Erregung der Waſſertheilchen Statt findet; p q ſei eine ſolche Gränzebene für die ſchwachen Wellen, jedesmal, wenn nur eine Wellenbewegung Statt findet. Ein Waſſerelementchen S, des, in Ruhe ſtehenden Waſſerſpiegels würde bei der ſtarken Wellenbewegung, wenn ſie allein Statt fände, die große Bahn a m oder f o, und eben ſo bei der kleinen Wellenbewegung die Bahn a′m′ oder f′ o′ beſchreiben.

Die Gleichzeitigkeit der Wellen macht, daß das Theilchen S an beiden Bahnbewegungen Theil nimmt, ſo zwar, daß, während dasſelbe Theilchen, welches im Augenblicke der vorgeſtellten Bewegung ſich in A befindet, die Bahn A M nach der Richtung des gezeichneten Pfeils durchläuft, die Ebene dieſer Bahn durch die große Wellenbewegung mitgeriſſen wird, und ihr Mittelpunct a in der großen Bahn a m nach der, durch einen zweiten Pfeil angezeigten Richtung fortſchreitet. Es entſteht aus der Kombination dieſer zwei einfachen Bahnbewegungen eine epicykloidiſche Bahn A V X Y, nach welcher ſich das Elementchen in der, durch einen dritten Pfeil gezeichneten, Richtung bei der doppelten Wellenſchwingung bewegt. Die Aufeinanderfolge der epicykloidiſchen Bewegung der Theilchen eines Niveau's bringt die Doppel-Welle A B C D E F G H I J K hervor. Die in gleichen Zeiten durchlaufenen Bögen ſind in jeder Bahn für ſich gleich, und das Verhältniß der beiden Schwingungen zu einander beſtimmt die Zahl der Knoten für die epicykloidiſchen Bahnen. In dem, durch die Figur vorgeſtellten Falle durchläuft ein Waſſerelementchen in derſelben Zeit fünfmal die kleine Bahn, während deren Mittelpunkt nur einmal der großen folgt, und die epicykloidiſche Bahn hat vier Knoten. Die nach oben zugekehrten Konvexitäten entſpre-

chen den Wellenbergen der kleinen Schwingungen, und die nach unten gekehrten den dazu gehörigen Wellenthälern.

35. Das Profil dieſer Wellenſchwingung iſt gezähnt, weil die kleinen Wellen ſich auf den großen befinden. Brémontier ſagte, gewöhnliche Wellen befänden ſich auf ſtillen. Dieſer Ausdruck aber iſt nicht ſcharf bezeichnend genug, denn man kann nicht ſagen, welche Wellenbewegung der andern vorgegangen iſt; auch ändert die Aufeinanderfolge ihrer Entſtehung nichts im Reſultate. Es iſt alles eins, ob man ſich vorſtellt, daß die epicykloidiſche Bahn durch die Bewegung eines Elementchens auf der kleinen Ellipſe, deren Mittelpunkt der großen zu folgen gezwungen iſt, entſteht, oder ob man annimmt, daß das Elementchen die große Ellipſe beſchreibet, und dieſe mit ihrem Mittelpunkte der kleinen Bahn folgt. Die hiernach gefundene Oberfläche der Wellen iſt ſtets dieſelbe.

36. Die Elementchen im Innern der Flüſſigkeit beſchreiben epicykloidiſche Bahnen von derſelben Art, wie ſie an der Oberfläche in Folge der doppelten Bewegung entſtehen; ſie unterſcheiden ſich nur durch ihre Größe (25). Aber man muß bemerken, daß, weil die kleinere Wellenſchwingung ſich nur auf geringe Tiefe, hier bis zur Gränzlinie p q, für den Fall, daß ſie allein beſtände, erſtreckt, die dem Syſteme der großen Wellen angehörige, und dem Niveau der Gränzlinie p q entſprechende Wellenlinie a″ f″ k″ auch die Gränze der zuſammengeſetzten Schwingung im Innern der Flüſſigkeit angibt, ſo zwar, daß von der Oberfläche des Meeres, bis zur Wellenlinie a″ f″ k″ ſich zuſammengeſetzte und gezähnte Wellen ergeben, unter dieſer Linie aber bis zur Gränze P Q die Waſſerelementchen nur einer, dem Syſteme der großen Wellen angehörigen Schwingung unterworfen ſind; denn auf der Wellenlinie a″ f″ k″ ſind die Bahnen für die kleine Wellenſchwingung ſchon Null geworden.

37. Ich habe in dem Vorhergehenden angenommen, daß die größeren Wellen ſich auch auf eine größere Tiefe wirkſam zeigen, ſo wie es wirklich Statt findet, wenn ihre Wellenberge hoch ſind; aber es gibt auch ſich verlaufende Schwingungen, deren Wellen lang und wenig hoch ſind; dieß iſt der Charakter der ſtillen Wogen, welche bei ihrem Urſprunge rieſengroß waren, aber durch die Zeit und die große Strecke, bis auf welche ſie ſich verbreiten, faſt unmerklich geworden ſind. Bei dieſer Art Wellen könnte es vorkommen, daß die Mittheilung der Bewegung nach unten hin weniger tief reichet, als jene einer lebhaften Wellenſchwingung, bei welcher die Wellenberge zwar eine geringe Länge, aber eine größere Höhe haben. Es iſt nicht ſchwer, das, was oben geſagt wurde, auf die Kombination zweier Wellenſchwingungen unter ſolchen Verhältniſſen anzuwenden. Im Allgemeinen alſo erſtrecket ſich die doppelte Bewegung im Innern der Flüſſigkeit von der Oberfläche des Waſſers nur bis zur Gränze der, weniger tiefreichenden, Wellenſchwingung.

38. Wenn zwei Wellenbewegungen, anſtatt nach einer Seite hin ſich fortzupflanzen, im Gegentheile gerade entgegengeſetzt ſind, d. h. wenn die größeren Wellen von O ausgehen, Fig. 12, während die kleineren von der Seite R herkommen, und es bleiben die Bahnen k n, k′ n′ dieſelben, ſo beſchreibt das Waſſerelementchen Z der ruhigen Oberfläche, wenn es im Augenblicke der, durch die Figur vorgeſtellten Wellenbewegung ſich in K befindet, die kleine Bahn A N nach der Richtung des gezeichneten Pfeiles, während zu gleicher Zeit der Mittelpunkt k der kleinen Bahn, die Bahn k n, ſo wie es ein zweiter Pfeil anzeigt, durchläuft. In dieſem Falle hat die epicykloidiſche Bahn die Geſtalt K′ V′ X′ Y′. Das Waſſerelementchen bewegt ſich in dieſer Bahn nach der Richtung des dritten Pfeiles, und die zuſammengeſetzte Wellenſchwingung zeigt die Oberfläche KJIHGFEDCBA, ſo wie im vorher-

gehenden Falle, nur daß die kleineren Wellen, welche die Zähne bilden, ſich von R nach V zu bewegen ſcheinen, während die großen von O nach R gehen.

39. In den, bis jetzt gegebenen Beiſpielen habe ich noch vorausgeſetzt, daß die Länge der großen Wellen genau ein Vielfaches jener der kleinen ſei, und daß die Bewegung ferner ſich ſo ergebe, daß, wenn ein Elementchen auf den Gipfel der großen Welle gelangt, es ſich zugleich auf dem Gipfel einer kleinen befinde; die Wellenthäler fallen demnach auch zuſammen, wodurch man die epicykloidiſchen Bahnen, als regelmäßige und ſymmetriſche Kurven erhält. Wenn die Wellenlängen zwar ein exactes Verhältniß unter einander haben, ſich aber nicht ſymmetriſch bewegen, ſo daß, wenn ein Elementchen ſich auf einem Punkte befindet, welcher dem Gipfel der großen Wellen entſpricht, es niemals zugleich auch auf einen Gipfelpunkt der kleinen Wellen trifft, ſo ſind die epicykloidiſchen Bahnen nicht regelmäßig und ſymmetriſch, wie jene in der Fig. 12; doch behalten ſie die nämliche Anzahl der Knoten, aber ungleichmäßig ausgetheilt. Stehen endlich die Wellenlängen zweier Syſteme nicht in einem ſolchen Verhältniß, wie es oben angenommen wurde, ſo kehren die Knoten der epicykloidiſchen Bahn immer erſt nach einer gewiſſen Anzahl von Bahnumgängen auf dieſelben Punkte zurück.

40. Die Geſchwindigkeit eines Stromes, und die allmählige Abnahme der Stärke der Wellen kann zwar die einfachen epicykloidiſchen Bahnen in nicht geſchloſſene und endloſe Kurven verändern, aber durchaus nicht das ſo ſehr einfache Geſetz, nach welchem ſie ſich bilden.

41. Wenn zwei einfache, gleiche und nach einer Richtung hin ſich fortpflanzende Wellenſchwingungen zuſammentreffen, ſo erfolgen, je nachdem die Bewegungen ſich verbinden, durch die Doppel-Wellen auch verſchiedene Erſcheinungen. Treffen zwei Schwingungen ſo zuſammen, daß ihre Wellengipfel zu glei-

cher Zeit in die nemliche Vertikale kommen, ſo befindet ſich, was immer für ein Waſſerelementchen auf der elliptiſchen Bahn einer Wellenſchwingung, in einem ſolchen Punkte, der homolog iſt der Lage ihres Mittelpunktes, auf der Bahn der andern Wellenſchwingung, im gleichen Zeitmomente. So iſt, zum Beiſpiel, wenn die Kurve AFD, Figur 13, die einfachen und gleichen Wellenſchwingungen vorſtellt, und die Bahn FH den beiden Schwingungen gleichmäßig angehört, ein Elementchen S in den Punkten SPQR der, der erſten Schwingung angehörigen Bahn, indem der Mittelpunct dieſer Bahn ſich ſtets zugleich in den Puncten FGHI der Bahn der zweiten Wellenſchwingung befindet. Die hierdurch gebildete, epicykloidiſche Bahn SPQR iſt ähnlich den Bahnen der einfachen Bewegungen, ihre Ausmaße ſind aber doppelt. Die entſtehenden Wellen OSK zeigen ſich nur einfach, ihre Längen ſind gleich der Länge einer einfachen Wellenſchwingung, aber ihre Höhen ſind doppelt, wodurch ſie ſich in die Gattung der kurzen Wellen einreihen (74). Der eben abgehandelte Fall, wo ſich zwei, nach einer Richtung hin ziehende, Wellenſchwingungen treffen, gibt die größten Bahnen für die Waſſerelementchen und die größten Wellenhöhen.

42. Für jeden andern Fall, wo ſich zwei gleiche, und nach einer Richtung hin gehende, Wellenbewegungen kombiniren, iſt die epicykloidiſche Bahn um ſo kleiner (wie S′Q′, S″Q″) und die Wellen um ſo niedriger (wie O′K′, O″K″), je mehr die Waſſertheilchen in einem und demſelben Zeitmomente von demjenigen Punkte ihrer Bahn entfernt ſind, der der Lage des Mittelpunktes ihrer Bahn auf der andern homolog wäre. Geſchieht es endlich ſogar, daß der Punkt, wo ein Waſſerelementchen auf ſeiner Bahn ſich befindet, dem Orte diametral entgegen geſetzt wäre, wo ſich der Mittelpunkt dieſer Bahn auf der andern in gleichem Zeitmomente herſtellet: ſo fallen die Wellenberge der einen Wellenſchwingung und die Wellen-

thäler der andern zuſammen, heben ſich auf, und es findet gar keine Bewegung Statt. Dies iſt die Urſache, daß man zuweilen mitten auf der bewegten Meeresoberfläche eine Stelle ohne Wellen bemerkt. Dieſe glatten Stellen entſtehen durch gleiche, nach einer Richtung hin, ſich mit ziemlich gleicher Geſchwindigkeit fortpflanzende Wellen, deren entgegengeſetztes Ineinandergreifen, dort wo ſie ſich treffen, jede Wellenſchwingung unmittelbar aufhebt, bis ſich wieder andere Wogen erheben.

43. Wenn zwei gleiche Wellenſchwingungen ſich in entgegengeſetzten Richtungen fortpflanzen, ſo entſteht bei ihrem Zuſammentreffen eine Klappenſchwingung, oder die ſogenannte ſtehende Wellenbewegung. Ich behalte mir es für die Erklärung 3 vor, über dieſe ganz beſondere Art von Bewegung zu ſprechen.

44. Um die gegebene Erklärung (34) über die Kombination gleichzeitiger Wellen, auch auf ſich kreuzende anzuwenden, genügt es, ſich die, von einem Waſſerelementchen beſchriebene Bahn, als wenn ſie allein beſtände, auf einer, mit der Richtung der Fortpflanzung parallelen Ebene darzuſtellen, und, wie oben geſchehen iſt, die beiden Bewegungen zu verbinden, um die epicykloidiſche Bahn der zuſammengeſetzten Wellenbewegung zu erhalten. In Folge dieſer Verbindung findet die Bewegung, was immer für eines Waſſerelementchens, ſtets in einer ebenen Bahn Statt, die ſich auf eine der beiden Schwingungen bezieht, während der Mittelpunct dieſer Bahn auf einer, der andern Schwingung zugehörigen Bahn-Ebene fortgeriſſen wird. Die Ebenen beider einfachen Bahnen bilden unter ſich einen beſtändigen Winkel, der gleich iſt jenem, welchen die Richtungen der Fortpflanzungen bilden, und die epicykloidiſche Bahn, welche durch die doppelte Schwingung entſteht, iſt eine Kurve von doppelter Krümmung.

Um dieſe Kombination durch eine Figur anſchaulich zu machen, ſeien P Q und p q, Fig. 14, auf einer horizontalen Ebene, die Richtungen zweier gleichzeitigen Wellenſchwingungen, indem man ſich vorſtellt, daß dieſe beiden Linien vertikale Ebenen ſind, welche das Waſſerelementchen Z durchſchneiden; ferner denke man, daß dieſe beiden Ebenen auf den Horizont umgeſchlagen, und daß ihre Durchſchnittslinien durch Z S und z s angezeigt ſind. Die Linien O R und o r bezeichnen die Oberfläche des ruhigen Waſſerſpiegels.

Wenn jede Wellenſchwingung für ſich allein Statt fände, ſo würde ein und dasſelbe in S und s für den Ruhezuſtand projektirte Elementchen, während der, durch B F C vorgeſtellten, größeren Wellenbewegung die große Bahn F G in der, durch P Q vorgeſtellten, vertikalen Ebene beſchreiben; für die, durch b f c dargeſtellte, kleinere Wellenbewegung müßte in der vertikalen Ebene p q die kleine Bahn f g beſchrieben werden. Die Bahnen F G und f g ſind in M N und m n projektirt. Wegen der Gleichzeitigkeit der beiden Schwingungen iſt ein und dasſelbe Elementchen genöthigt, die kleine Bahn f g zu durchlaufen, während die Ebene dieſer Bahn ſich ſo fortbewegt, daß der Mittelpunct dieſer kleinen Bahn ſich beſtändig auf der großen Bahn F G befindet; es folget daher, im Raume, einer epicykloidiſchen Bahn von doppelter Krümmung, die auf der Ebene P O durch A Y V L auf der zweiten Ebene p q durch a y v l und auf der horizontalen Ebene durch Y Z A in der Projektion dargeſtellt iſt.

45. Die beiden gleichzeitigen Wellenſchwingungen zeigen auf der Oberfläche des Waſſers eine Art von Netz, das durch zwei Reihen von Hügelchen, oder, in jedem Wellenſyſtem unter ſich parallelen, Wellenbergen gebildet wird; ein vertikaler Schnitt dieſer Wellenbewegung zeigt auch ein gezähntes Profil (35).

Die Elementchen im Innern der Flüſſigkeit beſchreiben epicykloidiſche Bahnen von derſelben Art, ſo wie ſie den gleichzeitigen Wellenſchwingungen im Niveau dieſer Elementchen entſprechen, und das, was in Beziehung auf die Gränze, bis zu welcher ſich die Wellen in die Tiefe hin verbreiten, geſagt worden iſt, gilt ganz auch für jenen Fall, wo die Wellenſchwingungen ſich durchkreuzen.

46. Wenn wir uns vorſtellen, daß, anſtatt zweierlei Wellenſchwingungen, drei zu gleicher Zeit wirken, ſo bewegt ſich was immer für ein Waſſerelementchen, auf der, den ſchwächſten Wellen entſprechenden kleinen Bahn, und der Mittelpunkt dieſer kleinen Bahn auf der, der mittleren Wellenſchwingung entſprechenden Bahn fortrückt, während zu gleicher Zeit der Mittelpunkt dieſer zweiten Bahn auch auf der Bahn der größten Wellenſchwingung fortgeriſſen wird. Es entſteht hierdurch eine epicykloidiſche Bahn von höherer Ordnung, als in den vorhergehenden Fällen. Man ſieht hieraus, daß die kleinſte Wellenſchwingung ſich auf der Oberfläche der mittleren und beide zugleich ſich auf der größten darſtellen.

47. Es ſei im Allgemeinen die Zahl und Richtung der gleichzeitigen Wellenſchwingung, welche ſie nur immer wolle, die Waſſerelementchen haben ſtets eine epicykloidiſche Bahnbewegung, deren Entſtehung leicht begreiflich iſt. Man ordne die betreffenden Wellenſchwingungen nur nach der Größe der ebenen Bahnen, welche von den Waſſertheilchen, wenn jede Schwingung für ſich beſtände, beſchrieben werden. Das Geſetz der Kombination aller dieſer, zugleich wirkenden Bewegungen iſt folgendes: ein Waſſertheilchen beſchreibt die kleinſte Bahn, während ihre, der erſten Stellung ſtets parallel bleibende Ebene ſich ſo fortbewegt, daß der Mittelpunkt die Bahn der nächſtfolgenden in derſelben Zeit durchläuft, als der Mittelpunkt dieſer zweiten auf der noch größeren Bahn fortgeriſſen wird u. ſ. w., bis zur größten und letzten Bahn. Man mag

in was immer für einer Ordnung die Wellenſchwingungen kombiniren, das Reſultat bleibt immer dasſelbe, man erhält ſtets dieſelbe epicykloidiſche Kurve.

Man ſieht, wie einfach dieſe Bewegung vor ſich geht, und wie groß doch die Verſchiedenheit der Wellenſchwingungen ſein kann. Es iſt dieß um ſo mehr bemerkenswerth, als nur ein einziges Geſetz Statt findet.

Dieſe Theorie erklärt auch vollkommen den Mechanismus des Zuſammentreffens von Kreiswellen unter ſich, oder mit geraden Wellen. Die Divergenz oder die ſtrahlenförmige Fortpflanzung der Wellen ändert nichts am Geſetze, nach welchem die epicykloidiſchen Bahnen entſtehen.

2. Von dem Zurückwerfen der Wellen.

58. Es iſt unmöglich, die Erſcheinung des Zurückwerfens der Wellen von einem ſteilen Ufer, oder vorzüglich von einer ſenkrechten Mauer zu erklären, wenn man bei den Schwingungen der Waſſertheilchen nur eine ſtreng vertikale Bewegung annimmt; denn es iſt nicht denkbar, daß die geringe Reibung des Waſſers an der ebenen Fläche im Stande wäre, dieſes mit ſolcher Heftigkeit zurück zu ſtoßen, als man es oft beim Zurückwerfen der Wellen bemerkt. Wenn man aber weiß, daß die Waſſerelementchen ſich in elliptiſchen Bahnen bewegen, ſo begreift man bald, wie eine Welle von einem Körper, gegen den ſie ſich erhebt, zurückgeworfen werden kann.

59. Es ſei M'R', Fig. 15, der Grundriß, und MR der Querſchnitt einer Mauer oder eines ſteilen Ufers, nach der Linie A'B'; AB iſt der Durchſchnitt einer einfachen Wellenbewegung, welche von der offenen See herkommt, und deren Direction im Grundriß durch A'B' angedeutet iſt; ab iſt der Durchſchnitt nach derſelben Ebene und zeigt eine innere Wellenſchwingung, welche natürlich jener der Oberfläche entſpricht. Die Waſſerelementchen A und a beſchreiben während der

Schwingung die Bahnen AF und af. Man bemerkt leicht, daß die, längs der Mauerverkleidung in der Vertikalen MR liegenden Waſſertheilchen B und b ihre Bahnen nicht vollenden, weil ſie die Oberfläche der Mauer nicht verlaſſen, und eben ſo wenig über ſie hinaus ſich bewegen können. Sie oscilliren nur längs der Oberfläche der Mauerverkleidung, ſind aber nichts deſtoweniger ganz jenem Drucke ausgeſetzt, welcher ihnen durch die andern, nicht nahe an der Mauer befindlichen Waſſerelementchen mitgetheilt wird, ſo, als wenn ſie ihre Bahnen völlig beſchrieben. Wenn die Elementchen B und b auf die höchſten Punkte ihrer Erhebung gelangen, ſo werden ſie durch die, in Bahnen ſich bewegende Maſſe gegen die Mauer angeworfen, und erhalten, ſo wie die Mauer ſelbſt, nach der Direction A′B′, in der vertikalen Projektion nach den Tangenten zu den Bahnen AB und ab ihren Stoß; die Stöße und die Elementchen werden im Grundriße nach der Linie B′T, im Durchſchnitte nach den Linien BA und ba ſo zurück geworfen, daß der Winkel A′B′M′ gleich iſt dem Winkel R′B′T, und weil dasſelbe auf der ganzen Vertikalen BR Statt findet, ſo wird die, in der Ebene A′B′ vorkommende Bahnbewegung allen Theilchen, welche ſich in der, der Richtung B′T entſprechenden vertikalen Ebene befinden, mitgetheilt. Es entſteht daher in der Ebene B′T eine zurückgeworfene Wellenſchwingung, welche ungefähr der direkten gleich iſt. Sie würde dasſelbe Profil AB haben, wenn ſie allein beſtünde, nur daß die Wellen nach entgegengeſetzter Richtung, das iſt von B′ nach T ſich bewegen müßten. Weil das, was ich jetzt von den, in den Ebenen A′B′, B′T enthaltenen Elementchen geſagt habe, ſich auch auf die Elementchen der Ebenen a′b′ und b′t anwenden läßt, ſo folgt daraus, daß die Waſſerelementchen, welche ſich in der vertikalen Durchſchnittslinie x der beiden Ebenen A′B′ und b′t befinden, zu gleicher Zeit von der direkten Wellenbewegung nach der Richtung A′B′, und von der

zurückgeworfenen Wellenbewegung nach der Linie b′t ergriffen werden. Dieſe Elementchen ſind demnach einer doppelten Schwingung unterworfen. Das, was in der Vertikalen x vorgeht, findet in allen Vertikalen der ganzen Maſſe Statt, weil jede ein Durchſchnitt von irgend einer vertikalen Ebene iſt, die mit der direkten Wellenbewegung parallel liegt, und von irgend einer vertikalen Ebene, die mit der Richtung der zurückgeworfenen Wellen parallel läuft. Hieraus ergibt ſich, daß durch die zurückgeworfene Wellenſchwingung alle Elementchen der bewegten Maſſe einer doppelten Wellenſchwingung hingegeben ſind, und daß ihre Bahnen ſolche epicykloidiſche Linien bilden, wie ſie der Gegenſtand der Fig. 14 waren (44).

50. Man hat geglaubt, daß der Mittelpunkt der Wirkung (centre d'action) jeder Woge gleich weit entfernt ſei vom Wellengipfel und vom tiefſten Punkte des Wellenthales *). Man berückſichtigte damals nur die Wellen an der Oberfläche; jetzt weiß man, daß dieſer Mittelpunkt ſich zwiſchen der Oberfläche des Meeres und der Gränze der Bewegung in der Tiefe, in einem Punkte befinden müſſe, deſſen Lage von dem Geſetze der Abnahme der Bewegung in die Tiefe hin abhängt.

51. Die elliptiſche, und wie eben geſagt wurde, zurückgeworfene Bewegung bringt Wellen hervor, welche parallel zur Linie IH, und in der Richtung B′T fortlaufen; dieſe zurückgeworfenen Wellen bilden durch die Durchkreuzung mit den direkten, auf der Oberfläche des Waſſers die verſchobenen Vierecke CDLI, deren Diagonalen parallel mit dem zurückwerfenden Ufer ſich bewegen.

52. Eine zuſammengeſetzte Wellenbewegung, von was immer für einer Ordnung, würde auf gleiche Weiſe zurückgeworfen werden und eine zurückgehende Wellenſchwingung von gleicher Ordnung erregen; die, aus beiden entſtehende zuſam-

*) Bericht der Commiſſion vom Jahre 1792, Nr. 38.

mengeſetzte Wellenſchwingung aber wäre von doppelter Ordnung.

53. Das Zurückwerfen der Wellen von einer vertikalen Wand, wenn ſie in einer, auf dieſe ſenkrechten Richtung anſchlagen, bringt nicht immer eine zuſammengeſetzte Wellenſchwingung hervor; denn, wenn die direkten Wellen ſtark ſind, ſo ſind die zurückgeworfenen ihnen ganz gleich, und weil ſie ſich ihnen gerade entgegen bewegen, ſo können ſich die beiden Schwingungen nicht kreuzen, und es entſteht eine ſtehende oder Klappenſchwingung, wie man ſie zuweilen längs ſteilen Küſten bemerkt (43).

54. Das Zurückwerfen der Wellen kann auch nur bei einem Theile der Tiefe des, in Unruhe befindlichen, Waſſers Statt finden; dies aber reicht ſchon hin, um alle obern Wellenſchwingungen zu ſtören. Es ſei **A B C**, Fig. 16, eine Wellenſchwingung auf der Oberfläche des Meeres, **P Q** die Gränze der Bewegung in der Tiefe des Waſſers, **D E** das Profil einer ſteilen Bank, die ſich nicht bis zum Niveau der Oberfläche des Meeres erhebt; **a b D** das Profil derjenigen innern Wellenſchwingung, wo die Wellenberge ſich bis zum Niveau **o r**, das iſt auf die Höhe der Bank erheben: ſo ſind es allein die, zwiſchen der Wellenſchwingung **a b D** und der Gränze **P Q** enthaltenen Waſſertheilchen, welche in Folge ihrer Bahnbewegung, an die ſteile Wand **D Q** anſchlagen. Die Rückwirkung dieſes Anſchlagens zerlegt ſich; ein Theil wirkt vertikal gegen die Oberfläche zu, und iſt oft ſtark genug, um die Welle **B C F** zu heben, ihr die Geſtalt **B C′ F′** zu geben, ja ſie ſelbſt zum Schäumen zu bringen; der andere Theil verliert ſich in der flüſſigen Maſſe, und ſei es, daß durch das ſchiefe Anprallen an das ſteile Ufer, zwiſchen dem Niveau **o r** und der Gränze **P Q**, ſich eine zuſammengeſetzte Wellenſchwingung bildet, ſei es, daß die Wellen perpendikulär anwirken: ſtets iſt die Folge davon eine Störung der obern Wellenſchwingung, welche

dann unordentlich über die Bank wegläuft, und, eine Strecke hin, ſtehende Wellen zeigt.

55. Es iſt dieß beſonders bemerkenswerth auf der großen Bank von Terre-Neuve. Herr de la Coudraye berichtet, daß die ſteilen Wände dieſer Bank, den ſich nähernden Schiffen, durch die kurzen und ſtehenden Wellen bemerklich werden. Dieſe Erſcheinung, welche ſich nicht anders, als durch das Zurückwerfen der, in Bahnen ſich bewegenden Maſſen von den ſteilen Wänden dieſer Bank erklären läßt, beweiſet, daß die ſtarken Wellen der Gegend von Terre-Neuve die Gränze ihrer Bewegung erſt in ſehr großer Tiefe erreichen, weil man nach Herrn de la Coudraye bei Terre-Neuve über der Bank noch 100 Faden (600 Schuh) Waſſertiefe findet. Es muß daher die Gränze PQ noch auf eine weit größere Tiefe reichen, damit die, zwiſchen dem Waſſerſpiegel und der Gränztiefe der Bewegung enthaltene, Waſſermaſſe durch das Anſchlagen an die Wände eine ſolche Wirkung hervorbringen könne, um die Wellen der Oberfläche durch eine, 600 Schuh dicke, Waſſerſchichte zu beunruhigen, ſelbſt zur ſtehenden Schwingung zu vermögen (18).

56. Der Anſchlag der Wellen gegen ein ſteiles Ufer iſt noch viel ſtärker, wenn ſie, wie es die Fig. 4 zeigt, niedergelegt ſind, weil ſie dann gewöhnlich von einer größern Geſchwindigkeit getrieben werden, und die Tangenten, nach welchen die Anſchläge geſchehen, nur wenig gekrümmten Bogen der Bahnen entſprechen, wodurch die, ſich von Theilchen zu Theilchen mittheilende Kraft ſtärker und dauernder wirkt.

57. Die Wellen können auch von einer nicht vollkommen vertikalen Wand zurückgeworfen werden. Es geſchähe dieß z. B., wenn die Fläche MR, in der Figur 15, anſtatt vertikal zu ſein, die Lage mr hätte. Iſt dieſe Wand ſtark geneigt, ſo erfolgt der Anſchlag auf der Oberfläche des Waſſers erſt dann, wenn die Welle in die Lage A″D kommt, wobei der

Punkt D perpendikulär getroffen wird. Das Zurückwerfen geſchieht nach der Richtung DS. Im Allgemeinen aber iſt der Anſchlag auf eine ſchiefe Ebene deßwegen ſchwächer, weil die inneren Wellen auf verſchiedenen Höhen nicht in einem und demſelben Augenblicke an die Wand treffen können, ſo wie es an der vertikalen geſchah. Der Anſchlag einer Wellenſchwingung a″b″ im Niveau ab geſchieht in dem Punkte d, bevor noch die Wellenſchwingung AB in dem Punkte D anwirken kann, das Zurückwerfen nach der Linie ds in dem Punkte d geſchieht daher auch vor dem Zurückwerfen der Waſſertheilchen in dem Punkte D, nach der Richtung DS. Dieſer Mangel des Zuſammentreffens beim Zurückwerfen verurſacht, beſonders wenn die Schwingung lebhaft iſt, ein Brechen der Wellen auf der Oberfläche, und zuweilen eine Klappenſchwingung (clapotage). Gewöhnlich werden die, der Oberfläche zunächſt liegenden Waſſertheilchen, durch das Zurückwerfen der unteren Wellen, in Folge der elliptiſchen Bahnbewegung gehoben, und weil keine gleiche Gegenwirkung exiſtirt, gezwungen, in der Geſtalt mn empor zu ſpringen. Dieſem Umſtande iſt es zuzuſchreiben, wenn die Wellen ſich auf der Böſchung in die Länge ziehen, ſo wie es Brémontier beobachtet hat.

58. Zur Zeit der Windſtille, oder bei nur leichter Bewegung des Waſſers, iſt der Anſchlag der Wellen gegen vertikale Flächen oder gegen ſteile Ufer allerdings nur ſchwach; aber man braucht nur bei ſtürmiſchem Wetter Acht zu geben, um ſich zu überzeugen, wie heftig derſelbe ſein kann, und man ſieht dann, daß die, von Brémontier vorgeſchlagenen ſenkrechten Uferverkleidungen, die nur eine einfache Reibung auszuhalten beſtimmt ſein ſollten, im Gegentheile den ſtärkſten Schlägen ausgeſetzt ſind, daher unmöglich als das beſte Profil gegen die Bewegung der Wellen angeſehen werden können.

59. Ein kleiner, durch die Bahnbewegung der Waſſerelementchen mitgeriſſener Körper erleidet keinen merklichen

Schlag; ein großer ſchwimmender Körper aber, wovon ein Theil tief unter das Waſſer taucht, wird von dem Anſchlage der Wellen an ſeiner Oberfläche merklich bewegt.

60. Wenn ſich Schiffe während der Stürme bemühen, der Strandung zu entgehen, ſo treibt ſie zuweilen der Schlag großer Wellen, und vereitelt, indem er ſich mit der Wirkung des Windes vereinigt und den Schiffbruch beſchleuniget, die Anſtrengungen des Steuermannes.

61. Durch die Wirkung der Bahnbewegung geſchieht es, daß bei Stürmen die Wellen mit Heftigkeit gegen die Schiffe anſchlagen und ſchäumend zurückgeworfen werden, und das Schwanken des Schiffes vermehrt noch dieſe Heftigkeit, indem es die Seitenflächen des Fahrzeuges den Wellen entgegen führt. Wenn eine große Woge unter einem angemeſſenen Winkel an ein Schiff ſchlägt, ſo wird ſie vom Rückſchlage oft bis über den Bord gehoben. Die Bahnbewegung theilt den Elementchen des Wellengipfels eine große Geſchwindigkeit mit, und das Waſſer folgt, wenn es an den Seiten des Schiffes keinen Widerſtand mehr findet, mit Gewalt der Richtung der Tangenten im Scheitel der Bahnen, verbreitet ſich mit Wuth auf dem Verdecke, reißt Alles mit ſich, und ſtürzt über den entgegengeſetzten Bord hinunter. Dieſes traurige Ereigniß bezeichnen die Seeleute dadurch, indem ſie ſagen: die Wellen haben das Verdeck gekehrt. Iſt das Fahrzeug ohne Verdeck, ſo bleibt die Welle im Schiffe, und Eine reicht hin, um es zu füllen und zu Grunde gehen zu machen.

62. Wenn ein Schiff ſich fortbewegt, ſo wird der Schlag der Wellen auf die Seitenfläche in Folge der Geſchwindigkeit zerlegt, und der daraus hervorgehende Schaden iſt ganz gering; wenn es aber vor Anker iſt, oder rhedelos mitten in einer heftigen Wellenbewegung, oder wenn plötzlich Windſtille eintritt, das Meer jedoch, ungeachtet der Wind ſchon aufgehört hat, ſein Ungeſtüm noch beibehält, ſo wird es, des Vor-

theils ſeiner Segel beraubt, und wie auf der Stelle feſt gebannt, nicht allein durch die Schwankungen nach der Seite und nach der Länge erſchüttert, ſondern auch von den Wellen geſchlagen. Da die Heftigkeit der Schläge in dieſem Falle nicht zerlegt wird, wie wenn das Schiff das Waſſer ſchnell durchſchneidet, ſo wirken ſie mit aller Kraft auf den Kiel, reißen ſogar die Schiffsplanken ab, und bringen das Fahrzeug in die größte Gefahr, unterzugehen. Dieſe Erſcheinung wurde zwar ſchon beſchrieben, aber niemals die Urſache der Heftigkeit dieſer gefährlichen Schläge nachgewieſen *). Sie liegt in der Bahnbewegung der Waſſertheilchen, und man ſieht, daß ſie nicht, wie Brémontier meint, nur die Wirkung einer einfachen Reibung iſt, auch durch vertikale Oscillationen niemals erklärt werden kann.

3. Das Brechen ſich begegnender, gleicher Wellen und die ſtehende oder Klappenſchwingung (clapotage).

63. Wenn zwei ungleiche Wellenſchwingungen, nach entgegengeſetzten Richtungen hin ſich bewegend, einander begegnen, ſo entſteht, wie wir es bereits geſagt haben (38), eine zuſammengeſetzte Wellenſchwingung; ſind aber beide Schwingungen gleich, ſo ergibt die Kombination der Bahnen, welche die Waſſertheilchen jeder, für ſich allein beſtehenden, Schwingung durchlaufen müßten, keine Bahnen für jene Theilchen, welche nunmehr der Wirkung beider Schwingungen zu folgen haben, und es finden keine ſich fortbewegenden, zuſammengeſetzten Wellen Statt.

64. Es ſtelle in der Figur 17 die Kurve ABC, EDC zwei gleiche Wellenſchwingungen vor, welche einander entge-

*) Encyclopédie moderne, par M. Courtin et une société de gens de lettres; t. V. art. Calme.

gengehen, und ſich in dem Wellenberge C begegnen; ein Elementchen der Waſſeroberfläche, ſowohl bei einer, als bei der andern Schwingung, wenn ſie allein oder abgeſondert Statt fänden, würde die Bahn CF beſchreiben, mit dem einzigen Unterſchiede, daß, wenn die Wellen von O kommen, die Bahn nach jener Richtung durchlaufen würde, welche der Pfeil Nr. 1 anzeigt, werden die Wellen aber von R aus fortgepflanzt, nach der Richtung des Pfeils Nr. 2.

Da, der Vorausſetzung nach, beide Schwingungen ſich verbinden ſollen, ſo müßte ein, der Waſſeroberfläche angehöriges Elementchen in der Vertikalen IJ, die Bahn IS nach der Richtung des Pfeils Nr. 3 durchlaufen, inſoferne es der, von R aus, fortgepflanzten Wellenbewegung folgt, während zu gleicher Zeit der Mittelpunkt C dieſer Bahn ſich nach der Richtung des Pfeils Nr. 1, auf der Bahn CF bewegt, die den, von O herkommenden Wellen entſpricht, oder was einerlei iſt, dieſes Waſſerelementchen müßte nach der Richtung des Pfeils Nr. 4 die IS durchlaufen, inſoferne es der, in O entſtehenden Wellenſchwingung folgt, während zu gleicher Zeit der Mittelpunkt F dieſer Bahn, nach der Richtung des Pfeils Nr. 2, ſich auf der Bahn CF, die der, von R kommenden Wellenſchwingung entſpricht, fortbewegt. In einer ſowohl, als in der andern Kombination, beſchreibt das Waſſerelementchen und der Mittelpunkt ſeiner Bahn, in gleichen Zeiten auch gleiche Bogen, und ſie befinden ſich in denſelben Augenblicken ſtets auf homologen Punkten, das heißt, der, von dem Waſſerelementchen zwiſchen den äußerſten Punkten ſeiner Bewegung beſchriebene Weg, iſt die gerade und vertikale Linie IJ. Hieraus folgt, daß die Waſſerelementchen nur eine vertikale Oscillation haben, daß die Erhebung des Wellenberges gleich ſei der Vertiefung des Wellenthales, und daß auch die Krümmungen des Wellenberges und des Wellenthales gleich ſind. Wir haben geſehen (17), daß dieſe Bedingungen bei einer fort-

ſchreitenden Wellenſchwingung (bei laufenden Wellen) nicht Statt finden können; auf dieſe Art kann die Vereinigung zweier gleicher und entgegengeſetzter Schwingungen niemals zuſammengeſetzte, laufende Wellen hervorbringen. Das Begegnen gleicher Wellen gibt im Gegentheile Veranlaſſung, daß ſie ſich wechſelſeitig zurückwerfen.

65. Es ſeien, in der Fig. 18, **A** und **C** zwei gleiche, in entgegengeſetzten Richtungen gegen den Punkt **B** ſich bewegende, Wellenſchwingungen. Die Waſſerelementchen auf gleicher Höhe zu beiden Seiten der Vertikalen **BF**, bewegen ſich auf gleichen Bahnen e f, g h, aber nach entgegengeſetzten Richtungen. Es iſt leicht einzuſehen, daß, wenn die Waſſertheilchen in c und g die höchſten Punkte ihrer Bahnen erreicht haben, ſie die, auf der zwiſchen ihnen liegenden, gemeinſchaftlichen Tangente c g befindlichen Waſſertheilchen ſtoßen, und da das nämliche in allen Punkten der Tiefe, wo noch eine Bewegung vorkommt, ſich ergibt, daß in der Vertikalen **BF** ein heftiges Zuſammenſchlagen Statt finden müſſe. Die Kraft dieſes Zuſammenſchlagens zerlegt ſich; ein Theil davon wirkt vertikal aufwärts, erhebt die beiden zuſammenſchlagenden halben Wellenberge und veranlaßt ein Brechen derſelben **KL**; der andere Theil des Schlages wirkt nach beiden Seiten hin, und bringt, unterſtützt von der Wucht des gebrochenen und niederfallenden Wellenberges, zwei ſtarke, unter ſich gleiche, zurückgeworfene, daher rückwärts gehende Wellen hervor. Dieſe verurſachen, indem ſie ſich von der Vertikalen **BF** entfernen und den direkten Wellen entgegenkommen, in den Vertikalen **DG** und **EH** mitten zwiſchen dem Laufe der direkten und zurückgeworfenen Wellen, beiderſeits ein neues Zuſammentreffen. Es entſtehen hierdurch neue zurückgeworfene Wellen; die einen kehren wieder zu dem Punkte **B** zurück, während die andern den urſprünglichen Wellen entgegengehen; ihr Zuſammenſchlagen geſchieht in den Vertikalen **AM**, **CN** und

ſo fort. Dieſe Art des Hin- und Herſchwankens der Wellen ſtellt die Klappenbewegung derſelben (die ſtehenden Wellen) dar. Man hat dieſen Namen deßwegen gewählt, weil die Wellen ſich nach einander blos vertikal heben und ſenken, ohne die geringſte horizontale Fortbewegung ihrer Geſtalt zu zeigen, ſo wie ſich beiläufig die Pumpenklappen oder Pumpenventile bewegen.

66. Die einfache Klappenſchwingung der Wellen gibt den Anſchein, als wenn zwei gleiche Wellenſchwingungen ſich durchdrängen, und eine nach der andern ſich zeigte, indem die Wellenberge der einen ſich an der Stelle der Thäler der andern erheben. Man iſt nicht im Stande, dieſe beſondere Bewegung durch eine Theorie zu erklären, wenn für alle Waſſertheilchen blos vertikale Oscillationen angenommen werden, weil es unter den Elementchen einige gibt, welche an der heftigen Bewegung nur wenig Antheil zu nehmen, ſelbſt, ſich horizontal zu bewegen ſcheinen. Man muß daher nothwendiger Weiſe zugeben, daß, während einige Elementchen wirklich auf geraden vertikalen Linien oscilliren, die andern alle von Schwankungen hin- und herbewegt werden und Wege beſchreiben, welche ganz ſicher ſehr verſchieden ſind von jenen Bahnen, die wir bei den laufenden Wellen angegeben haben.

67. Ich habe mit Aufmerkſamkeit eine große, von einer Klappenſchwingung bewegte Waſſermaſſe beobachtet, und Folgendes bemerkt:

Es ſei Fig. 19 das vertikale Profil eines Syſtems von Wellen im Zuſtande der Klappenſchwingung. Zuerſt bemerkt man die, durch die Kurve A'B'C'D'E' dargeſtellten größten Wellenberge und tiefſten Wellenthäler, und für den Augenblick darauf andere Wellenberge und andere Wellenthäler, ebenfalls in ihren größten Ausmaßen, dargeſtellt durch die Kurve AB'CD'E. Dieſe Wellenberge und Wellenthäler folgen ſich abwechſelnd, ſo, daß ein Wellenberg ſich vertikal auf jener

Stelle erhebt, wo ein Wellenthal war, dieſen Platz einem Thale einräumt, um wieder ſich zu erheben u. ſ. f. Man ſieht ferner, daß zwiſchen den zwei Kurven BC'D, B'CD', welche die abwechſelnden und extremen Profile der Klappenſchwingung darſtellen, die Wellenberge und Wellenthäler durch eine unendliche Zahl von Uebergangsformen gehen müſſen; zwei derſelben ſind durch die Kurven ab'm'n'cd', a'bnmc'd vorgeſtellt. Dieſe krummen Linien gehen nothwendig unterhalb der Wellengipfel A, B, C, D, und oberhalb der tiefſten Punkte der Wellenthäler A'B'C'D', und durchſchneiden die Kurven BC'D, B'CD' in den Punkten n, m' oberhalb der Linie OR, vorausgeſetzt nämlich, daß es einen Augenblick gibt, wo ſich weder Wellenberge, noch Wellenthäler zeigen, und die Elementchen der Oberfläche gleichſam in der Ruhefläche liegen, die durch dieſe Linie vorgeſtellt iſt. Die Uebergangsgeſtalten oder Zwiſchenformen der Wellenberge und Wellenthäler ſind, ſo wie die Geſtalt der höchſten Wellenberge und tiefſten Wellenthäler, der Bedingung unterworfen, daß das Volumen der, über den ruhigen Waſſerſpiegel ſich erhebenden Wellen gleich ſein müſſe dem leeren Raume, wodurch die Wellenthäler unterhalb dieſer Ruhefläche gebildet ſind; eine Bedingung, wodurch die Wellenberge bei der Klappenſchwingung, ſo wie bei den laufenden Wellen (27) eine mehr ſpitzige Geſtalt erhalten, als umgekehrt das Wellenthal, und wodurch die Wellengipfel ſich höher über den ruhigen Waſſerſpiegel OR erheben, als die tiefſten Punkte des Wellenthales ſich unter denſelben hinabſenken.

Man kann ſich eine Fläche denken, welche eben ſo gut von den äußerſten, als von allen, in einander übergehenden, Zwiſchenformen der ſtehenden oder Klappenwellen berührt wird. Dieſe Einhüllungsfläche, wie ſie zwiſchen den beiden Wellenbergen B und C ſich ergibt, kann im Profil durch die Kurve BmXm'C dargeſtellt werden. Sie wird berührt in B,C

von den höchſten Punkten der, auf einander folgenden Wellengipfel, zwiſchen beiden in den Punkten m und m′ durch die, in der Figur gezeichneten Uebergangsformen, und in X von der ruhigen Waſſeroberfläche, welche auch nichts anderes, als eine Uebergangsform der ſtehenden Wellen iſt.

Alle Theilchen der, in Unruhe befindlichen, und durch ſtehende Wellen in Bewegung geſetzten Waſſermaſſe, müſſen, je nachdem ſie mehr oder weniger tief unter der Oberfläche OR liegen, ganz auf ähnliche Art, wie an der Oberfläche, Wellenberge und Thäler bilden. Die inneren Wellenberge und Thäler haben ebenfalls ihre Uebergangsgeſtalten, und dieſe ihre Einhüllungsflächen, ſo wie an der Oberfläche, nur daß die Höhenausmaße derſelben nothwendiger Weiſe von der Oberfläche des Waſſers, bis zu der Gränzfläche PQ in der Tiefe, wo beſtändige Ruhe herrſcht, abnehmen. Die inneren Wellenſchwingungen ſind nicht gezeichnet, um die Figur nicht zu verwirren.

Indem man fortfährt, die ſtehenden oder Klappenwellen zu beobachten, ſo ſieht man, daß die Elementchen der Waſſeroberfläche, welche den Axen AA′, BB′, CC′, DD′, EE′ der Wellenberge und Wellenthäler entſprechen, ſo wie alle, in denſelben Vertikalen darunter liegenden, die einzigen ſind, welchen die Eigenthümlichkeit, vertikal zu oſcilliren, zukommt, und daß alle übrigen Waſſertheilchen, indem ſie ſich zu gleicher Zeit erheben und ſenken, ſich nothwendig auch von einer Welle zur andern neigen müſſen. Es folgt daraus, daß, wenn man, wie ich es ſchon gethan habe (24), die flüſſige Maſſe, in ſich frei bewegende Waſſerſtreifchen theilt, was immer für ein Waſſerſtreifchen (mit Ausnahme derjenigen AA′, BB′, CC′, DD′, EE′, welche den Axen der Wellenberge und Wellenthäler angehören) im Zuſtande der Ruhe, oder in einer mittlern Stellung die Vertikale MS zur Axe habe, bei ſeinen äußerſten Bewegungen aber, dieſe Axe nach S′f′, S′r′ gekrümmt ſei. Das

Elementchen M′ der Oberfläche hat zu ſeiner Bahn die Kurve f′M′m′r′, auf welcher es ſeine zwei tiefſten Punkte in f′ und r′, das Maximum ſeiner Erhöhung aber nur einmal in m′ erreicht. Dieſes Theilchen muß nähmlich auf der Oberfläche des höchſten Wellenberges C in r′, und auf der Oberfläche des tiefſten Thales C′ im Punkte f′ erſcheinen, und endlich die Einhüllungsfläche B m X m′ C in einem Punkte berühren, welcher durch die Bahn f M′ m′ r′ und durch eine der Uebergangsformen der Klappenwellen a b′ m′ n′ c d′ tangirt wird.

Die Bahn eines Elementchens muß nothwendiger Weiſe durch den Punkt M gehen, wo die Oberfläche des ruhigen Waſſers der Vertikalen begegnet, die das Waſſerſtreifchen im Zuſtande der Ruhe, oder in einer mittlern Lage vorſtellt, denn es gibt einen Augenblick, wo die Uebergangsform in die ruhige Oberfläche O R übergeht. Die Kurve der Bahn kann nur dann zwei gleiche und ſymmetriſche Arme haben, wenn ſie einem Elementchen, z. B. X angehört, das im Zuſtande der Ruhe, oder in ſeiner mittlern Lage, gleich weit von den Axen der Wellenberge B und C entfernt iſt. Die Geſtalt der Bahn für das Elementchen X könnte ungefähr v X z ſein.

68. Es fehlt ohne Zweifel unendlich viel dazu, daß dieſe Beſchreibung der ſtehenden oder Klappenwellen jenen Grad von Vollſtändigkeit beſitze, welchen die Gelehrten wünſchen möchten. Sie iſt jedoch das Reſultat aufmerkſamer, aber wegen der Schnelligkeit der Bewegung ſehr ſchwieriger Beobachtungen. Es wäre zu wünſchen, daß durch den Kalkül die von mir begangenen Fehler verbeſſert würden. Wenigſtens gibt dieſe Beſchreibung der ſtehenden Welle eine richtige Idee von dem Mechanismus dieſer, vielleicht ſchwieriger als jede andere, der Analyſe zu unterwerfenden, Schwingungsart.

69. Die Klappenwellen, ſo wie ich ſie jetzt beſchrieben habe, ſind nur einfach; die Streifchen des Waſſers ſchwanken zwiſchen ebenen, mit dem, in der Figur gezeichneten Profile

parallelen Flächen; die Bahnen der Elementchen ſind Kurven in einer Ebene, und die Wellenberge horizontale, ſenkrecht auf die Ebene des Profils gerichtete cylindriſche Körper; dies iſt zwar der einfachſte, aber doch auch ſehr ſelten vorkommende Fall. Gewöhnlich iſt die ſtehende Wellenbewegung zuſammengeſetzt, und wird durch zwei oder mehrere ſich durchkreuzende, einfache Klappenwellenſchwingungen hervorgebracht; die Linien, nach welchen die Waſſerſtreifchen hin- und herſchwanken, ſo wie die Bahn der Elementchen, ſind dann von doppelter Krümmung, und die Wellenberge ſtehen einzeln, wie Warzen. Bei einer doppelten Klappenſchwingung ſind die Wellenberge in verſchobene Vierecke eingetheilt, die durch Linien gebildet werden, in welchen die Elementchen der Oberfläche die geringſte Bewegung haben.

70. Es ereignet ſich oft, daß ſelbſt zuſammengeſetzte, ſtehende Wellen ſich mit einfachen oder zuſammengeſetzten, laufenden Wellen kombiniren, ſo daß die Klappenwellen auf den großen Wellen erſcheinen, wie wir geſehen haben, daß ſich kleine auf großen Wellen fortpflanzen (35). So zuſammengeſetzt auch ein ſolcher Zuſtand des Meeres ſcheinet, man kann ihn ſtets durch Zerlegung in die einzelnen Bewegungen auf den erklärten, ſehr einfachen Mechanismus zurückführen, ſo wie ich es bei den zuſammengeſetzten Wellen angedeutet habe (47).

4. Vom Zurückſtoßen der Wellen und von ihrer Verkürzung.

71. Wenn die Richtung einer ſtarken und lebhaften Wellenbewegung ſenkrecht auf ein ſteiles Ufer iſt, ſo bemerkt man, daß die ankommende Woge von dieſem Ufer zurückgeworfen und zum Theil zum Schäumen gebracht werde; ſie wird dann ſogleich durch ein viel tieferes Wellenthal, als die andern Wogen haben, erſetzt, und läßt die ſteile Wand trocken, wenn

ihr Fuß nicht ſehr tief reicht. Man würde ſagen, das Meer zieht ſich ſchnell zurück; aber das Waſſer kommt ſehr bald wieder, ſcheint einen Augenblick im Gleichgewichte zu ſtehen, und bildet dann Klappenwellen, welche die Wirkung der, ſich begegnenden, Wellen ſind. Sobald der Anfang einer Ruhe, welche ſtets gleich auf dieſen Andrang folgt, die Ankunft einer neuen Woge erlaubt, wird die Waſſermaſſe neuerdings zurückgeworfen, und dieſes Phänomen heißt man das Zurückſtoßen der Wellen (le ressac). Es fällt den, in der Gegend ſteiler Ufer vor Anker liegenden, Schiffen oft zur Laſt, weil die, durch die direkten Wellen, und vorzüglich durch die Klappenwellen, ohnedieß hin und her geworfenen Fahrzeuge auch noch die vielfältigen und wiederkehrenden Stöße aushalten müſſen, welche das Waſſer durch das Zurückprellen der Wellen ausübt.

72. Weil man nach der Theorie ſtreng vertikaler Oscillationen keine Erklärung des Zurückſtoßens der Wellen ausfindig machen konnte, ſo ſchrieb man es dem Flutſtrome und dem Auslaufen der Wellen zu; aber das Zurückſtoßen hat Statt, ſowohl bei der Flut, als bei der Ebbe, bei hoher und bei niedriger See, ſelbſt in Meeren, die keine bemerkliche Flut und Ebbe haben, und wo es durchaus keine Strömungen gibt; es findet auch längs ſolcher Ufer Statt, deren ſteile Wände tief hinunter reichen, und wo das, was man das Auslaufen der Wellen nennt, gar nicht vorkommt.

73. Jetzt, wo die Bahnbewegung der, in Schwingung verſetzten Waſſerelementchen bewieſen iſt, muß man wahrnehmen, daß das Zurückſtoßen der Wellen nichts Anderes, als eine ſtarke Zurückwerfung derſelben (48), und daß die wahre Urſache die, von der Bahnbewegung herkommende Anprellung iſt.

Der Einfluß ſteiler Küſten, oder das dabei vorkommende Zurückſtoßen der Wellen, iſt oft weithin im Meere beobachtet worden; man bemerkt es zuweilen auf mehr als 300 Klafter

vom Ufer, durch die ſtehenden oder Klappenwellen, und durch eine beſondere Veränderung der Geſtalt der Wellen, wovon ich ſehr bald ſprechen werde. Man hat beobachtet, daß die, mit Heftigkeit gegen die ſteilen Ufer der Inſel Madeira anſchlagenden Wellen ein Zurückſtoßen verurſachen, wodurch das Anlanden auf dieſer Inſel ſehr erſchwert wird *). Man hat auch ein Zurückſtoßen der Wellen in der Nachbarſchaft jener ungeheuren ſchwimmenden Eisberge, welchen man in hohen Breiten begegnet, wahrgenommen. Die vertikalen Flächen der tief tauchenden Schollen werfen, ſo wie ſteile Küſten, den Stoß der, ſich in elliptiſchen Bahnen bewegenden, Waſſertheilchen zurück. Dieß gibt einen neuen Beweis, daß der Erſcheinung des Zurückſtoßens der Wellen nichts Anderes zum Grunde liegt, als was ich dafür angegeben habe.

74. Die Seeleute haben bemerkt, daß in einigen Meeren die Wellen viel kürzer ſind, als jene des Oceans, d. h., daß bei gleichen Höhen der einen und der andern die Wellen enger Meere, eine geringere Länge haben: man hat ſich begnügt zu ſagen, dieß komme daher, weil in dieſen Meeren die Wellen nicht genug Raum zu ihrer Entwicklung hätten. Dieſe, übrigens ſchwankende, Erklärung iſt auch nicht richtig; man findet kurze Wellen in einigen Gegenden des Oceans, wo es gewiß nicht an Raum fehlt. Das Verkürzen der Wellen hat alſo einen andern Grund, den man aber ſo lange nicht entdecken konnte, als man nur vertikale Oscillationen bei den Wellenſchwingungen anerkennen wollte. Das Anſchlagen an die Ufer, wodurch wir das Zurückſtoßen der Wellen erklärten, wird uns auch eine vollkommene Erklärung der Verkürzung der Wellen geben, und wir werden ſehen, daß die Wellen enger Waſſerbehälter nicht ſo ſehr wirklich verkürzt ſind, ſondern vielmehr nur im Ver-

*) Malte-Brun, Précis de géographie. T. V. p. 169.

gleich mit den Wellen, wie ſie ſich in dem Ocean begegnen, höhere Berge beſitzen.

75. Es ſei Fig. 20, **ABC** ein Theil einer Wellenſchwingung des Waſſerſpiegels **OR**, die von **O** nach **R** mit derjenigen Höhe und Länge der Wellen ſich fortbewegt, welche durch die urſprünglich erregende Urſache der Schwingung allein hervorgebracht wird. Es ſollen dieſe Wellen an ein ſteiles Ufer auf der Seite **R** anſchlagen. Die, aus der Bahnbewegung hervorgehende Rückwirkung des Anſchlages wirkt zuvörderſt auf den, dem Ufer zunächſt liegenden Theil der Waſſermaſſe. Durch das Zurückſtoßen der Wellen wird das, zwiſchen **A**'und **C** enthaltene Waſſer in den viel engern Raum von **A'** und **C'** zuſammengedrängt, der Waſſerſpiegel verhältnißmäßig von **O R** nach **O' R'** erhöht, die Bahn **B F** eines Elementchens **B** nach **B'F'** übertragen und gezwungen, durch die Wirkung des horizontalen Stoßes ſich in vertikaler Richtung zu verlängern; die Geſchwindigkeiten haben auf dieſe Art zugenommen. Die vertikale Verlängerung der Bahnen zieht nothwendiger Weiſe eine bedeutendere horizontale Schwankung, wodurch auch die Bahn-Breiten zunehmen, nach ſich, während im Gegentheile die Länge der Wellen, durch die Wirkung des Zuſammendrängens der Waſſermaſſe **A C**, in den viel kleinern horizontalen Raum **A' C'** verkürzt worden iſt. Durch dieſe Aenderung der Ausmaße der Bahnen, und des, von den Wellen eingenommenen Raumes ſind die, von der Geſtalt **ABC** in jene **A'B' C'** übergegangenen Wellen wirklich verkürzt, zu gleicher Zeit aber höher geworden, als früher. Dieſe Erklärung dürfte hinreichen, den Einfluß anſchaulich zu machen, welchen ein ſteiles Ufer, auf die, ſich demſelben nähernden Wellen, und auf jene Waſſermaſſe ausübt, die zwiſchen dem Ufer und der Gränze der Wirkung des Zurückſtoßens der Wellen enthalten iſt. Es bleibt nur noch zu erklären übrig, wie die Verkürzung der Wellen ſich auf ſolche Diſtanzen erſtrecken kann, welche

4 *

viel zu groß ſind, als daß ſie die horizontale Rückwirkung des Ufers erreichen könnte, und wie ein ganzes, großes Waſſerbecken, ſo wie jenes des mittelländiſchen Meeres, etwas davon verſpüren kann.

76. Der Einfluß einer ſteilen Küſte auf die Wellen der offenen See ſtellt ein ſehr merkwürdiges Phänomen dar, indem ſich das Wachſen der Höhen der Wellenberge, wodurch ſich die Wellen zu verkürzen ſcheinen, in einer, dem Gange der Wellen entgegengeſetzten Richtung fortpflanzt.

Die Rückwirkung des Anſchlages gegen das Ufer, wodurch die zunächſt liegende Waſſermaſſe zurückgeworfen wird, zwingt, wie wir bemerkt haben, die Elementchen dieſer Maſſe, viel größere und, vorzüglich in vertikaler Richtung, viel längere Bahnen zu beſchreiben. Dieſe Rückwirkung, ſo wie der Anſchlag, welcher ſie hervorbringt, erfolgt zwar nicht unausgeſetzt, doch können in der Zwiſchenzeit zweier, auf einander folgenden Rückſtöße, wo das Waſſer ſich auf ſein urſprüngliches Niveau **OR** zu ſtellen ſtrebt, die Bahnen der Elementchen nicht ihre erſte Form wieder annehmen, weil der Zeitraum nicht lang genug iſt, damit die, ihnen mitgetheilte ſtärkere Bewegung ſich vermindere. Die Aufeinanderfolge der Rückſtöße und die, daraus hervorgehenden horizontalen Zuſammenpreſſungen erhalten vielmehr nicht allein die Verlängerung der Bahnen, bis zur Gränze der Wirkung des Zurückſtoßens, ſondern ſie vermehren dieſe, und zwingen ſie, ſich weit darüber hinaus in die offene See durch folgende Mittel zu verbreiten.

77. Wir haben geſehen, daß die Waſſerelementchen, indem ſie ihre Bahnen beſchrieben, ſich bewegen, als wenn ſie zuſammen Streifchen bildeten, welche ſich während der Wellenſchwingung verlängern und verkürzen (24).

Es ſei a b c d e, Fig. 21, das Profil einer, von der offenen See herkommenden Wellenſchwingung, welche ich die natürliche heißen will, i m ſei die Bahn eines, der Oberfläche die-

ſer Wellenſchwingung zugehörigen Elementchens; es ſei ferner **ABCD** das Profil einer erhöhten Wellenſchwingung, wobei die Welle **BCD** betrachtet wird, als bewegte ſie ſich an der Gränze der, vom Rückſtoße herrührenden, horizontalen Zuſammenpreſſung, und **IM** ſei die Bahn desſelben Waſſerelementchens bei dieſer Schwingungsweiſe; **PQ** iſt die Gränzfläche der Bewegung in der Tiefe.

Das Waſſerſtreifchen p **M**, welches, im Zuſtande der Ruhe, das Elementchen **M** der Oberfläche enthält, dehnt und verkürzt ſich, um die erhöhte Schwingung **ABCDE** hervorzubringen, mehr als zur Hervorbringung der natürlichen a b c d e. Auf dieſe Art muß ein Waſſerſtreifchen, welches in einem gegebenen Augenblicke, bei der, durch a b c d e vorgeſtellten natürlichen Schwingung auf dem Wellenberge c die Lage p f einnähme, in demſelben Augenblicke bei der erhöhten Schwingung ſich auf dem Wellenberge **C**, in der Lage p **F** befinden. Dasſelbe Waſſerſtreifchen, welches in einem gegebenen Zeitmomente, bei der natürlichen, durch die punktirte Kurve b′ c′ d′ vorgeſtellten Wellenſchwingung, ſich im Wellenthale c′, in der Lage p g befände, muß in demſelben Augenblicke in dem, zur erhöhten Schwingung gehörigen Wellenthale **C′** in der Lage p **G** ſein, und weil durch die Wirkung der vergrößerten Bewegung aller Waſſerſtreifchen der Druck, welchen ſie wechſelſeitig auf einander ausüben, vermehrt wird, und das Hin- und Herſchwanken bei der veränderten Schwingung größer iſt, als bei der natürlichen: ſo pflanzt ſich die vermehrte Schwankung nothwendiger Weiſe, eben ſo wie der Druck in horizontaler Richtung, immer weiter und weiter fort, und bringt natürlicher Weiſe fernhin eine Vergrößerung der Ausmaße, vorzüglich in vertikaler Richtung bei den Bahnen der Waſſerelementchen hervor; eben ſo pflanzt ſich auch die Bewegung in eine größere Tiefe fort, und macht, daß die Gränzfläche **PQ** niedriger zu liegen kommt. Die Fortpflanzung des ſtärkeren

Hin= und Herſchwankens, iſt ganz unabhängig von der Richtung, nach welcher ſich die Elementchen in ihren Bahnen bewegen; ſie kann ſelbſt in einer, dem Gange der Wellen gerade entgegengeſetzten Richtung erfolgen. Ferner, weil die Kraft, welche die Fortpflanzung veranlaßt, ſo lange das Zurückſtoßen dauert, ununterbrochen fortwirkt; ſo iſt es natürlich, daß die Vermehrung des Schwankens der Elementchen, die Verlängerung ihrer Bahnen, und folglich auch die Erhöhung der Wellen, ins Weite fortgepflanzt werden kann, um ſich weit hinaus über jene Gränzen zu verbreiten, bis wohin der eigentliche Rückſtoß wirkt.

78. Wenn die Erhebung der Wellenſchwingung bis über die Mitte der Breite eines Meeres fortgepflanzt werden kann, und dieſelbe Wirkung an der entgegengeſetzten ſteilen Küſte Statt findet, ſo kombiniren ſich die, durch beide Küſten hervorgebrachten Wellenerhöhungen, und die Erſcheinung verbreitet ſich ſo ſehr und ſo ſchnell, daß ſie ein allgemeiner und gewöhnlicher Zuſtand dieſes Meeres wird, ſo oft es heftiger bewegt iſt. Es ſcheint, daß dieß gerade im mittelländiſchen Meere der Fall iſt, wo die Seeleute ſtets kürzere Wellen, als im Ocean bemerkten, und die Stürme deßwegen ſehr gefährlich ſind.

79. Im Ocean wird die Erſcheinung der, durch den Zurückſtoß erhöhten Wellen immer ſchwächer und ſchwächer, je entfernter die Küſten ſind, durch welche ſie veranlaßt wurden; denn ein gegenüberſtehendes Ufer trägt hier nichts zu ihrem Fortbeſtehen bei, und auf eine gewiſſe Entfernung verſchwindet ſie ganz, wenigſtens kann ſie nicht mehr wahrgenommen werden. Dieſe Entfernung iſt übrigens, im Vergleich mit der ungeheuren Breite des Waſſerbeckens, immer ſehr klein. Der Wallenſtädter=See in der Schweiz zeigt dieſes Phänomen in einem ſehr merkwürdigen Grade der Stärke. Der See iſt ſehr tief; ſeine von Oſt nach Weſt ſich hinſtreckende Länge beträgt beiläufig 4 Lieues, ſeine Breite nur 1 Lieue.

Wenn der Wind aus Norden kommt, ſo bilden ſich ſo entſetzlich große Wogen, wie die ſenkrechten Felſen ſind, welche den See umgeben *). Dieſe Erſcheinung, welche die Beſchiffung des Sees zu gewiſſen Zeiten ſehr gefährlich macht, wird durch das Zurückſtoßen der Wellen von beiden, nahe an einander gelegenen und bis in große Tiefen ſehr ſteilen, Ufern hervorgebracht. Die Verſtärkung der Schwankungen und die Verlängerung der Bahnen haben ſo viel Kraft, um die Erhöhung der Wellen von einem Ufer zum andern fortzupflanzen; die, durch beide Ufer hervorgebrachten Wellen-Erhöhungen vereinigen ſich, und die Wellenberge erhalten, im Verhältniß zu ihrer Länge, eine außerordentliche Höhe, ſie nehmen eine ſpitze und ſteile Geſtalt an und ſind fürchterlich.

5. Vom Kräuſeln oder Schäumen der Wellen.

80. Das Schäumen oder Kräuſeln der Wellen iſt nichts anderes als ein Brechen derſelben durch den Wind; einige Wellengipfel werden, indem ſie zuſammenbrechen, in einen flockigen Schaum verwandelt. Von einiger Entfernung angeſehen, ſcheint das Meer mit ſchiffbrüchigen und durch die Wellen hin und her getriebenen Schafen bedeckt zu ſein.

Das Schäumen findet Statt, wenn der Wind plötzlich eine große Intenſität erlangt; doch iſt noch das Zuſammentreffen ſeiner Richtung mit jener der Wellen, ſei es nun nach derſelben Seite hin oder nach der entgegengeſetzten, wenn auch nicht mit Haarſchärfe, aber höchſtens mit einer kleinen Abweichung, unumgänglich nöthig. Iſt dieß nicht der Fall, ſo mag der Wind ſtark ſein, wie er wolle, er bringt nur eine neue Wellenſchwingung hervor, welche die frühere durchkreuzt, und es entſteht eine zuſammengeſetzte Wellenſchwingung.

---

*) Lettres sur la Suisse, par Mr. Raoul Rochette.

81. Für den erſten Fall, wo der Wind nach derſelben Richtung weht, wohin die Wellen gehen, ſei ABC, Fig. 22, ein Wellenberg, deſſen Schwingung von O nach R ſich fortpflanzt; der Wind, welcher ſich, nachdem bereits die Wellenſchwingung gebildet war, erhob, weht nach der Richtung DE, und kann nicht auf die, durch die Maſſe des Wellenberges geſchützte Fläche BC wirken; aber indem er die Fläche AB drückt, verurſacht er, daß die Elementchen der Oberfläche, ſo wie jene darunter, bis auf eine gewiſſe Tiefe aus ihren Bahnen gerückt werden, und neue beſchreiben, welche nach der Seite R mehr geneigt ſind, als ſie es, in Folge der urſprünglichen Wellenſchwingung, geweſen wären.

Die der Seite BC angehörigen Elementchen, welche in der, dem Winde entgegengeſetzten Richtung von keiner Kraft gedrückt werden, können daher unter ſich, und mit den entſprechenden Theilchen der Seite AB jenes Gleichgewicht nicht mehr halten, womit ſich der Wellenberg B vertikal bis auf b erhebt; ferner kann der Druck des Windes auf die Maſſe des Wellenberges ſich nicht augenblicklich und ſo ſchnell fortpflanzen, um die Elementchen der Seite BC noch während ihrer Bewegung zu erreichen. Auf dieſe Art ſetzen dieſe Elementchen ihre urſprüngliche Schwingung ABC fort, während jene der Seite AB, der Heftigkeit des Windes nachgebend, ſich ſchnell in eine Form AB ſtellen, die einer Wellenſchwingung A′B′C′ von der Gattung der, in der Fig. 4 abgebildeten, angehört. Die Bewegungen der Elementchen beider halben Wellen ſind daher nicht im Einklange. In einigen Punkten, wie in B, wo die Kurven beider Schwingungsarten, ſowohl in der Oberfläche, als bei den innern Schwingungen, ſich begegnen, findet ein Zuſammenſchlagen der, verſchiedenen Schwingungen folgenden, Waſſertheilchen Statt; dieſe Elementchen ſtoßen ſich unter ſolchen Winkeln, wie ſie die Tangenten ihrer Bahnen bilden. Auf ſolche Weiſe folgt das, dem Punkte B′ nahe gele-

gene Elementchen der Oberfläche, indem es mit den Theilchen der Seite AB′ ſchwingt, und auf ſeiner Bahn B′ M herabfällt, der Richtung der Tangente B′ G, ſo wie das, dem nämlichen Punkte B′ nachbarliche und der urſprünglichen Wellenſchwingung mit dem Theilchen der Seite B′C folgende, Elementchen der Oberfläche, indem es auf ſeiner Bahn M′B′ empor ſteigt, ſich in der Richtung der Tangente B′ H fortbewegt. Dieſe zwei Theilchen ſtoßen, indem ſie ſich begegnen, aneinander, und erheben ſich wirbelnd nach der Richtung der Reſultanten B′ I. Die fortgeſetzte Wirkung des Windes, und das Nachfolgen von Waſſertheilchen, welche ſich in einem Zeittheilchen nahe an dem Punkte B′ beinahe unter denſelben Umſtänden befinden, bilden eine kleine, eben nach dieſer Richtung B′ I, über die Oberfläche B′ C herausgedrückte Welle, die durch ihre Schwere kräuſelnd herunter fällt, und von dem Widerſtande der Luft gebrochen wird; ſie bedeckt den Gipfel des zuſammengeſetzten Wellenberges mit ſchäumendem Brodel, wie in D, deſſen Ablaufen einen Anblick gewährt, wie die Locken eines Bließes. Der Schaum vermiſcht ſich bald mit dem Waſſer, und verſchwindet. Die, einen Augenblick ſpäter, ſchon niedriger gewordene Welle bietet ihre Oberfläche nicht mehr unter einem angemeſſenen Winkel dar, und hört auf, ſich zu brechen, bis die allgemeine Schwingung ſie wieder erhebt, und das Kräuſeln und Schäumen ſich wieder erneuert.

82. In dem zweiten Falle, wenn der Wind nach einer, dem Gange der Welle A B C, Fig. 23, gerade entgegengeſetzten Richtung D F bläſt, hält er ſie zurück, und die Seite B C wird zuſammengedrückt: die ihr zugehörigen Elementchen werden, bis auf eine geringe Tiefe, von ihren Bahnen abgelenkt und genöthigt, neuen, nach O hin geneigten Bahnen zu folgen. Die gedrückte Seite nimmt dann eine Geſtalt an, welche der Schwingung A B′ C angehört, als wenn die ganze Maſſe von der Wirkung des Windes getrieben würde; die Element-

chen der Seite AB jedoch, welche von der Kraft des Windes nicht erreicht werden, ſind auch nicht von ihren natürlichen Bahnen abgewichen, und ſetzen ihre urſprüngliche Schwingung fort, d. h. die Seite AB behält ihre Form. Die, dem Punkte B′ nahen, Elementchen der Oberfläche auf der Seite AB haben, indem ſie der Bahn MB′ folgen, in dem Punkte B′ die Richtung B′ G, während jene, welche der Richtung der Seite B′ C folgen, und ſich auf der geneigten Bahn M′ B befinden, ſich im Punkte B′ nach der Direktion B H bewegen: es erfolgt hieraus, wie früher, ein Zuſammenwirken, wodurch eine kleine Welle, nach der Richtung B′ I hinausgedrückt und gebrochen wird. Sehr oft wird der Schaum wie ein leichter Nebel vom Winde über die Seite AB′ hinweggeführt, wie man es in D ſieht.

83. Wenn der Wind beiläufig horizontal bläſt, und über die Wellengipfel hinweg ſtreicht, ſo entſteht auch die Erſcheinung des Schäumens; der Wind wirkt tangential auf die Scheitel der Bahnen, welche von den, nahe an der Oberfläche liegenden, Elementchen der flüſſigen Maſſe beſchrieben werden, und verändert die Geſchwindigkeit dieſer Elementchen: er vermehrt ſie, wenn er von E gegen F bläſt, Fig. 24, und wenn die Wellen in derſelben Richtung von O nach R ſich bewegen; er vermindert ſie, wenn er in entgegengeſetzter Richtung wirkt, die Welle D aber fortläuft, wie geſagt. Bei dieſer Art von Wirkung des Windes iſt jedoch das Schäumen gewöhnlich nur ſchwach. Sobald die Menge der, ſich erhebenden Elementchen groß genug iſt, um ihr zu widerſtehen, ſo verliert ſich der Schaum im Waſſer, der Wellenberg iſt niedriger und das Kräuſeln hört auf, bis die, ſich wieder erhebende, Welle von Neuem durch den Wind ergriffen wird.

6. Bemerkungen über die Ebbe und Flut.

84. Viele haben die Bewegung der Flut mit jener der Wellen verglichen und geglaubt, daß Flut und Ebbe nichts anderes, als die Wirkung einer ſtillen (unmerklichen) Welle ſeien (lame sourde) *), oder von ſich ſchnell folgenden Wellen herrühren **); dieſe Meinungen verdienen geprüft zu werden.

Bei dem jetzigen Zuſtande unſeres Erdballs iſt der Ocean in drei große Becken getheilt. Die Ebbe und Flut bringen ein unaufhörliches Schwanken des Meeres zwiſchen den Kontinenten, die ſie einſchließen, hervor, und es erhebt ſich, ganz abgeſehen von den verſchiedenen Einflüſſen der veränderten Stellung des, durch ſeine Anziehungskraft auf die Wäſſer wirkenden Geſtirnes, die Flut ſtets an dem öſtlichen Ufer eines jeden Beckens, ihre Wellen durchlaufen das ganze Becken, und verlieren ſich am weſtlichen Ufer; eine andere Flut erhebt ſich wieder am öſtlichen Ufer des nächſten Baſſins, und verliert ſich am entgegengeſetzten.

Sei es, daß man vorausſetzt, das Meer bedecke die ganze Oberfläche des Erdballs, wie es wohl anzunehmen erlaubt iſt, daß es einſt ſo geweſen; ſei es, daß man es in ſeinem jetzigen Zuſtande betrachtet, die krummen Linien für jede Art der Bewegung, ſind immer von derſelben Beſchaffenheit.

Es mag das Verhältniß zwiſchen dem Durchmeſſer der feſten Kugel T, Fig. 25, der Tiefe des Meeres und der Kraft des, die Flut verurſachenden Geſtirnes ſein, welches es wolle, das Sphäroide der, ſich diametral entgegengeſetzten, von der Anziehungskraft herrührenden Fluten, wenn es auch noch ſo

---

*) **Brémontier.**

) **Le chevalier Rollet, art. Courans. Dictionnaire d'histoire naturelle de Déterville, et le Pilote americain.

in die Länge gezogen gedacht wird, und wie auch in Folge der Rotation um den Mittelpunkt T ſeine Lage ſein möge, es kann niemahls eine andere, als die Oberfläche eines Ellipſoides darſtellen. Sein Durchſchnitt A B C D durch die Ebene des Aequators und durch den Mittelpunkt des anziehenden Geſtirnes gibt eine, in allen Theilen convexe Kurve; ſie iſt eine Ellipſe. Im Gegentheil müßte, wenn die Oberfläche dieſes Meeres ohne Ufer, einer wirklichen einfachen Wellenſchwingung unterworfen wäre, der Durchſchnitt der zwei, ſo wie die beiden Fluten, einander diametral entgegengeſetzt, nach einer Richtung und um den Mittelpunkt C ſich bewegenden, Wellen a und c eine Curve a b c d bilden, die in den Wellenthälern b und d auch concav ſein könnte. Es fehlt daher viel, daß das Geſetz der Flutbewegung gleich ſei jenem der Wellen-Oscillationen. Ferner hätten die großen Wellen a b c d zur Gränze ihrer Bewegung in der Tiefe eine ſphäriſche Oberfläche P Q, innerhalb welcher das Waſſer in Ruhe bliebe, während jedoch die ganze Waſſermaſſe von der, die Flut erregenden Anziehungskraft in Bewegung geſetzt wird

85. Dieſelben Bemerkungen können auch auf die, von der Anziehung zweier Geſtirne herrührende Flut angewendet werden, wenn man ſie mit zwei Wellenſchwingungen vergleicht, die eine zuſammengeſetzte hervorbringen, und wenn man ſich denkt, daß zwei einfache und ungleiche Schwingungen, jede nur aus zwei Wellenbergen und zwei Wellenthälern beſtehend, verbunden werden ſollen.

Fünftes Kapitel.

Vom Einfluſſe des Meeres=Grundes auf die Wellen.

86. Der Einfluß des Meeres-Grundes iſt von dreierlei Art. Liegt der Grund nicht tief, ſo veranlaßt er eine Verkürzung der Wellen, die aber ganz verſchieden iſt von jener in der Nähe ſteiler Ufer (71); iſt der Grund anfänglich ſehr tief, und erhebt er ſich mit einer ſehr ſanften Neigung, ſo vernichtet er die Bewegung der Wellen ganz; wenn endlich der Grund ſich nur abſatzweiſe erhebt, ſo bilden ſich Grundwellen, welche noch nicht beſchrieben worden ſind, die man bis jetzt gar nicht kannte, und deren Wirkungen man ganz andern Urſachen zuſchrieb.

1. Verkürzung der Wellen wegen zu geringer Meerestiefe.

87. Wenn die Wirkung des Windes auf die Oberfläche eines ſeichten Meeres ſo bedeutend iſt, daß Wellen entſtehen, deren Bewegungsgränze in der Tiefe niedriger zu liegen käme, als der Grund dieſes Meeres, ſo fehlt es den Waſſerelementchen nahe am Grunde an Raum in die Tiefe, um ihre Bahnen zu beſchreiben und ſich in Uebereinſtimmung mit den, über ihnen liegenden zu bewegen. Indem dieſe Waſſerelementchen herabfallen, üben ſie auf den Grund einen Druck aus, welcher vertikal zurückwirkt, die Geſchwindigkeit der wieder aufſteigenden Waſſertheilchen vermehrt, und ihre Bahnen länger macht, als wenn die Wellenſchwankung in einem hinlänglich tiefen Meere Statt finden könnte.

Dieſe Verlängerung der Bahnen pflanzt ſich nothwendiger Weiſe vom Grunde bis zur Oberfläche fort, und verurſacht

eine Erhöhung der Wellenberge, ſo wie eine gleichzeitige Vertiefung der Thäler, und weil alle Ausmaße der Bahnen vergrößert werden, ohne daß ſich die Länge der Wellen ändert, ſo werden die Wellenberge alle ſpitzer. Wenn die Rückwirkung nicht ſtark iſt, ſo wird die Wellenſchwankung nicht geſtört, der Grund wird ſehr bald zugleich die Gränze der Bewegung, und das Wellenſpiel ſo regelmäßig, als wenn das Meer viel tiefer wäre, mit dem einzigen Unterſchiede, daß die Wellenberge mehr erhoben, und die Wellen kurz ſind. Bei heftigem Winde jedoch iſt auch die Rückwirkung des Grundes ſtark, und gibt den Wellen eine ganz beſondere Geſtalt; ſie werden ſpitz, vom Winde niedergelegt, wie es in der Fig. 26 vorgeſtellt iſt, ja ſelbſt auch ſtark gebrochen.

88. Dieſe Art der Wellenverkürzung fällt den Schiffen ſehr zur Laſt. Weder die Seiten= noch die Längenſchwankung des Fahrzeuges hat Zeit genug, ſich mit der lebhaften Aufeinanderfolge der anſchlagenden Wellen in Uebereinſtimmung zu ſetzen. Die Schiffe ſind einer unaufhörlichen Gefahr Preis gegeben; die großen, ſehr erhöhten Wellen, wie ſie in der Fig. 26 dargeſtellt ſind, drohen, wenn ſie ſich brechen, das Schiff unterzutauchen und die ſpitzen Wellen einer ſtarken Klappenſchwingung, welche mit Heftigkeit vertikal empor ſteigen, können in jedem Augenblicke ſchwache Fahrzeuge umſchlagen. Im Allgemeinen werden jene Seegegenden, wo dieſe Wirkung des Grundes mit beſonderer Stärke ſich zu entwickeln pflegt, als höchſt unſicher angeſehen. Die Gefahr wird oft durch das Zurückwerfen von den Ufern, wodurch ſich die Wellenberge bedeutend erhöhen, noch vermehrt (74).

2. Schwächung der Wellen in Folge einer ſanften Anſteigung des Grundes.

89. Wenn der Grund des Meeres in einer ſolchen Tiefe, bis wohin die Bewegung der Wellen nicht reicht, und daher

auch keine Gegenwirkung vorkommen kann, ſich äußerſt ſanft nach jener Richtung, wohin die Wellen gehen, erhebt und höher wird, als die Bewegungsgränze, ſo iſt ſein Einfluß nicht mehr derſelbe, wie im vorigen Fall. Er bringt eine Schwächung der Wellen hervor, weil ſich ſeine Oberfläche mit der Gränzfläche unter einem ſehr kleinen Winkel ſchneidet, und unmerklich dieſe erſetzt. In den Durchſchnittspunkten iſt die ſchwingende Bewegung Null, in den nahe daran gelegenen ſehr ſchwach, und kann auf dieſe Art ſehr leicht durch den Widerſtand und die Reibung, welche die Elementchen, indem ſie ihre ſehr kleinen Bahnen beſchreiben, auf dem Grunde des Meeres erfahren, gänzlich aufgehoben werden. Dieſe Schwächung pflanzt ſich vertikal bis zur Oberfläche fort, und nimmt in horizontaler Richtung, nach Maßgabe, als ſich der Grund erhebt, immer mehr und mehr zu; die Wellen werden daher, indem ſie ſich dem Ufer nähern, in ihren Dimenſionen immer kleiner und kleiner.

90. Dieß iſt die wahre Urſache jener Schwächung der Wellenbewegung, welche Brémontier an den Geſtaden der Teiche von Biscaroſſe, de la Conau, von Hurtin und am Becken von Arcachon bemerkt hat. Dort, ſagt er, ſieht man, wie die Wellen allmählig kleiner werden, indem der Grund ſich erhebt. Wie dieß jedoch geſchieht, darüber gibt er keine Erklärung. Herr de la Coudraye hat auch wahrgenommen, daß das Meer auf der Bank von Terre-Neuve weniger ſtürmiſch ſei, als in der offenen See. Dieſe Thatſache kann nur daher kommen, daß jenſeits der ſteilen Wände dieſer Bank eine ſehr ſanfte Abdachung des Grundes, indem ſie die Bewegung ſchwächt, allmählig die Stelle der Gränzfläche der Schwingungen in der Tiefe vertritt.

3. Von den Grundwellen.

91. Endlich ſind wir zu dem vorzüglichſten Gegenſtande meiner Unterſuchungen, zur Erklärung der Grundwellen ge-

kommen. Dieſe ſind es, welche die Zerſtörung einer großen Zahl von Seebauwerken verurſachen, welche dem Meere die Mittel darbieten, ſeine Ufer und daran gebaute Ortſchaften zu verwüſten, welche auf der andern Seite aber auch das feſte Land vergrößern, Häfen anfüllen und mit Sand und Schlamm umgeben und machen, daß Städte, deren Mauern einſt von den Wellen beſpült wurden, jetzt mitten auf dem Lande ſtehen. Alle dieſe Wirkungen hat man bisher dem Flutſtrome und dem einfachen Wellenſpiele zugeſchrieben; aber von nun an mögen die Grundwellen als eine furchtbare Wirkung der Kraft des Meeres erkannt werden.

92. Es ſei OR, Fig. 27, die Oberfläche des ruhigen Meeres, die Kurve ABCDEFG für einen gegebenen Zeitmoment ein Durchſchnitt der Oberfläche einer Reihe, von O nach R ſich bewegender, Wellen; die krummen Linien abcdefg und a′b′c′d′e′f′g′ für denſelben Zeitmoment die Durchſchnitte zweier innerer Schwingungen in dem Niveau or und o′r′; die Linie PZ bezeichne die Gränzfläche, unterhalb welcher keine Wellenſchwankung mehr Statt findet; VU bezeichne den Grund des Meeres. Sobald der Grund eben iſt, oder vielmehr tiefer liegt, als die Gränzlinie PQ, ſo ſtört nichts die Regelmäßigkeit der Wellenſchwingungen, und die Bewegung pflanzt ſich innerhalb der Waſſermaſſe oberhalb der Linie PQ ſo fort, daß alle Elementchen ohne Hinderniß die, ihrem Niveau zugehörigen Bahnen beſchrieben.

Es ſtelle TS eine horizontale Erhöhung des Grundes vor, welche gegen die offene See hin, eine ſteile Wand TU hat; die innere Schwankung a′b′c′d′e′f′g′ tangirt dieſe Erhöhung. Die Elementchen oberhalb des Niveaus o′r′ dieſer Schwingung, haben zwiſchen der Oberfläche und dem Grunde TS genug Raum, um ihre Bahnen zu beſchreiben, weil angenommen wurde, daß die krumme Linie a′b′c′d′e′f′g′ durch die Schwingungen der Elementchen des Niveaus o′r′ gebildet

werde; die Waſſerelementchen unterhalb o′r′ jedoch, welche im Zuſtande der Ruhe zwiſchen der Horizontalen o′r′ und dem Grunde TS enthalten ſind, können während der Bewegung ihre Bahnen nicht beſchreiben. Dieſe Elementchen bilden unter jedem Wellenberge, der von der Schwingungslinie c′d′e′f′g′ begränzten, undulirenden Waſſermaſſe, kleine Hügelchen oder Waſſerkörper, welche auf dem Grunde TS liegen, und eine Art von Segmenten c′d′e′, e′f′g′ zum Quer-Profil haben. Jedes dieſer Hügelchen iſt, ohne ſeine Form zu verändern, gezwungen, nach der Richtung TS zu entfliehen, indem es dem Drucke aller Waſſerelementchen über ſeinen Seitenflächen c′d′, e′f′ folget. Die, während der Wellenſchwingung, auf ihren Bahnen herabfallenden Elementchen wirken nämlich auf dieſe Seitenflächen, wie auf ſchiefe Ebenen, und ſtoßen die Waſſerkörper nach der Seite S hin, wo die, ſich auf ihren Bahnen erhebenden, und über den Seitenflächen d′e′, f′e′ liegenden Elementchen den Platz räumen. Dieſe Elementchen werden bei ihrer aufſteigenden Bewegung durch eben die Seitenflächen d′e′, f′e′ getragen und unterſtützt, bis ſie, nach vollbrachter Bahnumſchwingung, wieder zurückkehren, um nun die Seitenflächen c′d′, e′f′ der, indeſſen vorgerückten und ſich ihrer Einwirkung darbietenden Hügelchen neuerdings zu drücken.

Die Hügelchen c′d′e′, e′f′g′ bewegen ſich demnach in derſelben Richtung und mit derſelben Geſchwindigkeit, wie über ihnen die Wellen; ein neues Hügelchen bildet ſich offenbar jedesmahl, ſo oft eine, von der offenen See herkommende Welle, die ſteile Wand TU überſchreitet.

93. Dieſe Hügelchen, und alle jene derſelben Form und desſelben Urſprungs, welche ihnen vorhergehen oder folgen, und welche den Wellen an der Oberfläche entſprechen, indem ſie mit ihnen zugleich auf dem Grunde des, heftig erregten Meeres, fortrollen, heißen Grundwellen.

94. Man hat bisher nur ihre Wirkung auf die unteren Theile der Schiffe, wenn ſie nähmlich ſo tief gehen, um von ihnen erreicht werden zu können, gekannt, man hat aber immer die daher kommenden Stöße für die Rückwirkung eines ſeichten Grundes gehalten.

95. Die Seeleute haben mit Recht die Schlußfolge gezogen, daß dieſe vorgebliche Rückwirkung des Grundes, wie Herr de la Coudraye ſagt, einen Wechſel der Meerestiefe anzeige, weßwegen man auch von Wellen ſprach, die vom Grunde herkommen (lame de fond). Aber die Bildungsweiſe der wirklichen Grundwellen, wovon in dieſen Paragraphen gehandelt wird, und ihr Verhältniß zu den oberen Wellen, ſind nichts weniger, als die Folge einer Rückwirkung des Grundes, und die Definition, welche Brémontier gibt, paßt auch nicht darauf; ſie gibt vielmehr den Beweis, daß er keine Vorſtellung von den wirklichen Grundwellen hatte.

Er ſagt, Grundwellen ſind ſolche, die von der offenen See herkommen, und weil ſie keine hinlängliche Tiefe vorfinden, von unten nach aufwärts geworfen werden. Die Wirkung eines ſeichten Grundes auf die, von der offenen See herkommenden Wellen, iſt der Gegenſtand des erſten Paragraphes in dieſem Kapitel; ſie macht die Wellen höher, verkürzt ſie, bringt eine ſtehende oder Klappenſchwingung hervor, kann auch Stöße auf die untern Theile der Schiffe verurſachen; doch dieß Alles macht noch keine Grundwellen, noch etwas dergleichen. Man muß wohl merken, daß eine ſteile Wand oder eine plötzliche Erhöhung des Grundes nothwendig iſt, wenn wirklich Grundwellen gebildet werden ſollen.

96. Obgleich die Grundwellen ſich auf dem Grunde des Meeres fortſchieben, ſo übt dieſer doch keine merkliche Rückwirkung gegen ſie aus, ſie ſchützen vielmehr die oberen Wellenſchwingungen vor einer ſolchen; denn, ſo groß auch die Ausdehnung des erhöhten Grundes T ſein möge, ſo werden

die Grundwellen c′d′e′, e′f′g′, wenn ſich daſelbſt kein neues größeres Hinderniß vorfindet, nur horizontal fortbewegt; ſie ſetzen ihren Lauf unter der ſchwingenden Waſſermaſſe fort, und nicht allein, daß ſie nicht von unten nach aufwärts geſtoßen werden, und keine Störung der Wellen hervorbringen, ſo tragen ſie noch dazu bei, daß die ſchwingende Waſſermaſſe ihre Bewegung vollbringen könne, weil ſie durch ihre Fortrückung jene ſchwingenden Waſſermaſſen erſetzen, welche unterhalb des Niveau's o′r′ fehlen, und deren Stelle durch den erhöhten, feſten Grund **UTS** eingenommen wird.

97. Die Grundwellen, welche ſich weſentlich von der, durch einen ſeichten Grund hervorgebrachten Wirkung unterſcheiden (87), ſind auch weſentlich von den laufenden Wellen darin unterſchieden, daß dieſe ſich an der Oberfläche in wechſelnden Formen zeigen, ohne daß dabei eine Fortrückung der Waſſermaſſe Statt fände, während im Gegentheile die Grundwellen an der Oberfläche nicht ſichtbar ſind, und auf dem Grunde Waſſerkörper bilden, die eine bleibende Geſtalt und eine, wirklich fortrückende Bewegung haben.

98. Wenn die Erhöhung des Grundes nicht fortdauernd, ſondern nach der Richtung, wohin die Wellen gehen, nur kurz iſt, und das Meer dann wieder ſeine Tiefe gewinnt, ſo verlieren ſich die Grundwellen, nachdem ſie, ohne die obere Wellenſchwingung zu ſtören, über die Bank weggelaufen ſind, in der Waſſermaſſe; die obern Wellen pflanzen ſich fort, aber ſie werden erhöhet, wie in einem Meere, dem es an Tiefe fehlt, weil ſie über die Bank hinaus von den Grundwellen in ihrer Bewegung nicht mehr unterſtützt werden, und weil die unbewegliche untere Waſſermaſſe, bis auf eine gewiſſe Diſtanz hin nach der Richtung der Fortpflanzung ſo zurückwirkt, wie es ein ſeichter Grund thäte (87); es findet dann die, im erſten Paragraphen dieſes Kapitels beſchriebene Wellenſchwingung Statt. Die Rückwirkung wird immer geringer, je weiter ſich

die Wellenſchwingung von der Bank entfernt, und allmählig wieder ihre gehörige Tiefe gewinnt.

99. Wenn der Meeresgrund ſich in kleinen, aufeinanderfolgenden Abſätzen erhebt, ſo ſetzen die, beim niedrigſten Abſatz gebildeten Grundwellen nichts deſto weniger doch ihren Weg fort; jede derſelben, ſobald ſie bei einem neuen Abſatz anlangt, überſteigt ihn durch die Kraft des, von der ſchwingenden Maſſe herrührenden Druckes auf ihre hintere Fläche, und vereinigt ſich mit derjenigen Grundwelle, welche bei dieſem Abſatze gebildet wird. Aber die, auf dieſe Art durch die Aufeinanderfolge mehrerer Abſätze ſich bildenden, Grundwellen ſind viel voluminöſer, als wenn ſie nur an einer ſteilen Wand entſtanden wären, deren Höhe der Summe aller einzelnen Abſätze gleich iſt, und dieß zwar aus der Urſache, weil die Grundwellen bei jedem Abſatze, durch ihr Hinaufſteigen, zugleich die obern Wellen erheben, und dieſe erhobenen Wellen wieder zur Bildung viel höherer Grundwellen Veranlaſſung geben.

100. Wenn nach einem oder mehreren Abſätzen die Grundwellen einem glatten abhängigen Strande begegnen, ſo verzögert die Neigung deſſelben ihre fortrückende Bewegung, aber die obern Wellen fahren fort, ſie mit, ſtets gleicher Kraft zu drücken; ſie ſind dann genöthigt, eine größere Höhe anzunehmen, und haben Einfluß auf die Geſtalt der Wellen der Oberfläche, welche kürzer werden, und deßwegen wieder zur Vergrößerung des Volumens der Grundwellen beitragen. Ein Strand iſt auf dieſe Art, in Bezug auf die Grundwellen, nichts anderes, als eine Reihe ſehr kleiner Abſätze.

101. Es mag ſich alſo der Grund in aufeinanderfolgenden Abſätzen, oder mittelſt einer flachen Böſchung erheben, die Grundwellen, indem ſie dem Ufer zulaufen, erheben ſich, und ſchwellen immer mehr und mehr an, indeß die Dicke der darüber befindlichen Waſſermaſſe, in Folge der Böſchung ſich allmählig vermindert.

102. Die, durch die Wellenſchwingung bis an den Strand des Meeres geführten Grundwellen, ſchreiten auf demſelben mit der ganzen Geſchwindigkeit, welche ſie durch den beſtändigen Druck der obern Schwingungen erlangt haben, vorwärts und bilden ſehr ausgebreitete ſchäumende Flächen, welche gegen das Ufer anſteigen. Dieſe Erſcheinung nennen die Seeleute: das Auslaufen der Wellen (déferlement). Dieſe Benennung iſt indeſſen nicht ganz richtig, weil die, ſich ausbreitenden, Waſſerflächen nicht von dem Auslaufen der obern Wellen (déroulement), ſondern von den Grundwellen herrühren, die unter der Waſſermaſſe hervorbrechen, ſobald die Wellen aufhören, ihre Bewegung zu ordnen und ſie zuſammen zu halten. Die Benennung der, vom Grunde herkommenden, Wellen (lames de Fond) würde ſich viel beſſer auf dieſe Flächen ſchicken, als auf die Rückwirkung eines ſeichten Grundes, für welche man ſie unpaſſend brauchte (95), denn dieſe Rückwirkung bildet keine Wellen in der Tiefe des Waſſers.

103. Die Fig. 28 ſtellt für mehrere Momente die, gegen das Ufer laufenden Wellen eines ſtürmiſchen Meeres vor, inſofern dieß nähmlich durch Profile möglich iſt, die, von ſo beweglichen Formen, nach dem Augenmaße gezeichnet worden ſind.

P Q iſt der Durchſchnitt eines ſandigen, daher glatten Strandes; **ABC** eine Reihe, von der offenen See herkommender Wellen, die durch die ſanfte Steigung und die, unter ihnen laufenden Grundwellen a b c, ihrer Geſtalt nach, ſich in etwas verändern; **CDEF** iſt das Profil einer ſchäumenden, auf dem Strande ausgebreiteten, von der letzten Grundwelle herrührenden auslaufenden Welle.

Wenn die Wellen **ABC** nach **A′B′C′** vorrücken, ſo werden ſie durch die, von a b c nach a′b′c′ vorrückenden, und, während ihrer Bewegung ſich ſchwellenden Grundwellen immer mehr und mehr gehoben. Die ausgelaufene Welle **DEF** kehrt, nachdem ſie das Maximum ihrer Ausbreitung erreicht hat, auf

dem abhängigen Strande mit einer großen Geſchwindigkeit wieder zurück; begegnet ſie der, ebenfalls mit großer Schnelligkeit bewegten und ſehr erhöhten Grundwelle c′, ſo wird ſie angehalten und gezwungen, ſich mit der Welle C′ zu vereinigen. Dieſe wieder gelangt dadurch zum Maximum ihres Volumens und ihrer Höhe und ſchreitet mit einer ſteilen Vorderſeite C′D′ in gleichem Maße vorwärts, als die Wellen A′B′ mit großer Geſchwindigkeit den Poſitionen A″ B″ zueilen. Die, auf dieſe Art geſtoßenen Elementchen des Wellenberges C′, welche auf der Seite gegen das Ufer keine Unterſtützung von anderen Elementchen finden, haben vermöge ihrer Bahnbewegung das Beſtreben, horizontal zu fliehen, und wenn ſie auf dem Gipfel ihrer Bahnen angelangt ſind, ſo verbindet ſich mit dieſer Bewegung noch die Wirkung der Schwere, und zwingt ſie, ſich ſchäumend zu kräuſeln C″, und alſobald auf den Strand herabzufallen; in demſelben Augenblicke ſchießet die Grundwelle c″, welche zugleich ſich zu ihrem Maximum erhob, und von keiner Waſſermaſſe, über die ſteile Vorderwand C″D″ hinaus, zurückgehalten wird, deren Seitenfläche c″n überdieß durch das Gewicht des, darüberliegenden Waſſers C″N, und vorzüglich durch die ſehr beſchleunigte, noch über ihr Statt findende, Wellenbewegung ſtark gedrückt wird, mit großer Geſchwindigkeit, auf den Abhang des Strandes hinauf, und reißt die, ungefähr im Punkte E herabgefallene Waſſermaſſe der Welle C″ mit; ſie bildet dann eine neue, ſich ausbreitende Fläche EF, welche die vorhergehende erſetzt, und ſo wie dieſe weit über das Niveau des ruhigen Waſſers ſich erhebt, eines Theils in Folge des erhaltenen Impulſes, andern Theils, weil die Oberfläche des Meeres nahe am Ufer, durch die, von den Grundwellen herbeigeführten Waſſermaſſen erhöhet iſt. Die, in dieſem Augenblicke am meiſten gegen das Ufer vorgerückte Welle C, bleibt mit dieſer auslaufenden Waſſerfläche EF, durch das Wellenthal D verbunden, und eilt mit ihrer

Grundwelle c. in C′ und C″, die ſteile Wand C′D′, das Kräuſeln C″, das darauf folgende Brechen der Welle, und endlich das Auslaufen E′F′ zu erneuern.

Die auslaufende Welle ſchäumt, indem ſie auf dem Ufer vorwärts ſchreitet, an ihrem Rande F, und man glaubt zu ſehen, wie noch immer die Waſſerelementchen, welche in kleinen Kreiſen ungeſtüm über den Sand hinweg rollen, durch die Bahnbewegung getrieben werden.

Wenn das Meer heftig bewegt iſt, ſo brechen ſich die Wellen an ihren Gipfeln, in den Stellungen A′B′, oder A″B″, welches ſie aber nicht hindert, die Grundwelle bis nach c″ zuführen, und dort das, eben beſchriebene, Phänomen hervorzubringen.

Oft erfolgt das Zuſammenbrechen der Wellen in C″ mit einer ſolchen Schnelligkeit hintereinander, daß eine auslaufende Welle über die andere hinwegeilt, und ſich mehrere, gegen das Ufer laufende Schaumſtreifen bilden; dasſelbe bemerkt man bei ruhigerer Zeit, wenn der Strand außerordentlich ſanft anläuft.

104. Es ſcheint mir unmöglich, dieſe verſchiedenen Wirkungen nur durch vertikale Oscillationen zu erklären, daher iſt das Kräuſeln und Zuſammenbrechen der Wellen am Ufer, ein neuer Beweis der Bahnbewegung. — Dieſe Bewegung iſt es, welche bei ſtürmiſcher See, vom Ufer aus, den Anblick des Meeres ſo fürchterlich macht.

105. Herr Bidone betrachtet in einem ſehr intereſſanten Aufſatze über die Wirbel *), dieſes Brechen der Wellen, als die Folge der Begegnung des, von jeder Welle herrührenden, gegen das Ufer laufenden Stromes, mit der vorhergehenden zurücklaufenden Welle, und will es mittelſt ſeiner Wirbel-

*) Experiences sur la propagation des remous (in 4to 1825); et inséré au tome 30 des Mémoires de l'Academie de Turin.

theorie erklären; aber man darf dieſes Phänomen nur einmal am Ufer des Meeres betrachtet haben, um zu erkennen, daß es nur von der Bahnbewegung der Waſſerelementchen und von dem Vorrücken der Grundwellen herrühre, und daß die zurückkehrenden Wellen ſo wenig Antheil daran haben, daß das Phänomen auch Statt fände, wenn die auslaufende Welle ſchnell in den Sand verſänke, und es daher keine zurücklaufende Strömung gäbe.

Das Begegnen der zurücklaufenden Welle mit der ſteilen Waſſerwand C'' D'' allein, zeigt ein kleines, aber merkwürdiges Phänomen, das man zu den Wirbeln, die der Gegenſtand der Unterſuchung des Herrn Bidone geweſen ſind, zählen könnte. Nachdem dieſe Welle durch einige Augenblicke abgelaufen, und ſchon ſo dünn geworden iſt, wie es E'F' anzeigt, bildet ſich am Fuße der Waſſerwand C' D' eine kleine wellenartige Erhebung H, die wohl dadurch entſteht, daß die Welle C' das zurücklaufende Waſſer zurückdrückt und anſchwellt. Dieſes lange Hügelchen ſteigt auf dem Strande immer nur bis zu einer gewiſſen Diſtanz von der Wand C'D' hinauf, und das zurücklaufende Waſſer fügt ſich, weil wahrſcheinlich darunter eine kleine Grundwelle iſt, unausgeſetzt ſeiner Form. Man bemerkt es in H', bevor es durch den Fall der überrollenden Welle C'' bedeckt wird, und es erſcheint alſogleich wieder, wenn eine auslaufende Welle zurückkehrt, und, ſchon ziemlich dünne, einer neuen Waſſerwand C'D' begegnet *).

---

*) Eine ähnliche Erſcheinung kann man beim Ablaufen einer Flüſſigkeit von den Wänden eines Gefäßes wahrnehmen. Es ſei A A, B B Fig. 29, ein, bis zum Niveau C C, mit einer Flüſſigkeit gefülltes Gefäß, deſſen ſenkrechte Wände benetzbar ſind. Erniedrigt man ſchnell das Niveau der Flüſſigkeit bis nach c c, ſo bilden die Theilchen, welche die Wände benetzt haben, im Herablaufen ringsum ein Körperchen, das oben dünn, und unten

106. Das Aufſteigen der Grundwellen am Strande, hält die Maſſe des Meeres von dem Ufer einige Zeit weiter entfernt, als ſie es bei gleichem Niveau, im Zuſtande der Ruhe wäre; doch wird dieß erſt dann recht merkbar, wenn der Abhang des Strandes hinreichend iſt, damit die ſteile Waſſerwand C′D′ eine bedeutende Höhe erlange. Das Niveau des ſteigenden Meeres kann vorläufig ſich nur ſo weit verbreiten, als eben dieſe ſteile Wand über den weniger ſanften Theil des Grundes aufſteigt. Von dem Punkte an jedoch, wo die Neigung ſanft wird, verbreitet ſich das Meer mit einer um ſo größeren Schnelligkeit, je höher durch die Wellenſchwingung und die Erhebung der Grundwellen die ſteile Wand geweſen iſt. Man hat in einem ſolchen Falle die Geſchwindigkeit des ſteigenden Meeres mit der, eines galopirenden Pferdes verglichen, und ſie iſt wirklich für jene Menſchen ſehr gefährlich, welche aus Neugierde, oder wegen der Fiſcherei ſich zu weit am Strande vorgewagt haben.

107. Ein Beweis, daß die Grundwellen und ihre Entſtehungsart nicht bekannt waren, iſt der, daß Herr de la

---

dicker iſt; es zeigt ſich ferner recht deutlich, unmittelbar über der concaven, an den Wänden ſich erhebenden Oberfläche der Flüſſigkeit, ein Hügelchen dd. Läßt man den Spiegel der Flüſſigkeit während dieſes Ablaufens wieder ſteigen, ſo ſteigt auch dieſes Hügelchen, ſo daß, wenn die Flüſſigkeits-Oberfläche bis nach c′c′ gelangt iſt, das Hügelchen bis nach d′d′ ſteigt. Die horizontale Oberfläche der Flüſſigkeit iſt hier gerade in demſelben Fall, wie die ſteile Wand der Welle C′D′. — Die Veränderung des Flüſſigkeitsſtandes in dem Gefäße AABB, kann ſehr bequem durch das Eintauchen eines prismatiſchen Körpers A′A′B′B′ hervorgebracht werden; wendet man ein gläſernes Gefäß und eine ſtark gefärbte Flüſſigkeit, z. B. Tinte an, ſo wird der Verſuch recht anſchaulich, weil man die Körperdicke einer Flüſſigkeit durch die Intenſität der Farbe beſſer beurtheilen kann.

Coudraye, indem er von dem Auslaufen der Wellen (déferlement) ſpricht, ſich wie folgt, ausdrückt: „Das, was man gewöhnlich unter einer Woge oder Welle verſteht, iſt derjenige, über das Niveau erhobene Waſſerkörper, welcher dem, am Ufer Beobachtenden am meiſten in das Auge fällt, ſich dann am Strande, weit über ſeine gewöhnlichen Gränzen ausbreitet, und welcher oft in ſeiner Heftigkeit, Grund und Eigenthum zerſtören zu wollen ſcheint.” Man ſieht hieraus, daß man damals das Auslaufen der Wellen blos für eine weitere Entwicklung der Wellen der Oberfläche hielt, während es, wie ich gezeigt habe, nichts anderes als ein lebhaftes Hervorbrechen der Grundwellen iſt, die ſich am Ufer ausbreiten.

108. Wenn die, auf dem ebenen oder abhängigen Meeresgrunde dahin rollenden Grundwellen c′ d′ e′, e′ f′ g′, Fig. 27, neuerdings einer ſteilen Wand S X begegnen, ſo wird jede durch den ſtarken Druck, welchen die, in Schwingung befindliche, Waſſermaſſe auf ihre Seitenfläche g′ h′ ausübt, zuſammengepreßt, und an dem entgegen ſtehenden Hinderniß S X in der Geſtalt g′ k′ emporgetrieben. Es wird die entſprechende Welle G H I zugleich emporgehoben, und in eine kurze Welle verwandelt. Ebenſo geht die Geſtalt der inneren Welle g h i in die Form g k l über, und wenn das Volumen, die Geſchwindigkeit und das Niveau, auf welchem ſich die Grundwelle befindet, hinreichend angemeſſen ſind, ſo wird die ganze Welle ſo hoch gehoben, daß ſie ſchäumt und ſich bricht, k. So oft eine Welle mit ihrer Grundwelle die ſteile Wand S X überſchreitet, wiederholt ſich dieſe Erſcheinung.

109. Ein ſolches Phänomen findet in der Bai von St. Jean de Luz, an dem Felſen Harta Statt, und Brémontier führt es mit Unrecht als ein Beiſpiel der Rückwirkung eines ſeichten Grundes an. Dieſer Meinung ſind übrigens auch die dortigen Seeleute, welche ſagen, daß der Harta vor dem Sturme mit den Achſeln zucke. Die Sache

verhält ſich ungefähr ſo: wenn die Wogen des Meeres vor einem Sturme ſo viele Kraft erlangt haben, um an den ſteilen Wänden, die von der Rhede von St. Jean de Luz liegen, bedeutende Grundwellen zu bilden, ſo bewegen ſich dieſe unter den Wellen fort, gegen das Ufer, und die, dem Felſen Harta begegnenden Theile ſtoßen ſich daran, und erheben ſich mit ſolcher Gewalt, daß jede, ſie dahin führende Welle gebrochen wird. Dieſes Brechen der Wellen rührt aber keineswegs von irgend einer Rückwirkung des obern Theiles vom Felſen her.

110. Dieſelbe Erſcheinung bemerkt man in verſchiedenen Meeren an den ſteilen Wänden der Felſen- und Korallenbänke. Das Ueberſchlagen der Wellen iſt ein ſicheres Zeichen von Klippen und von einer plötzlichen Erhebung des Grundes. Weil man bis jetzt das Brechen der Wellen allein der Rückwirkung des Grundes zuſchrieb, ſo hat man auch die meiſten Seichten, Wellenbrecher (brisans) genannt; aber das, dem Gange der Wellen entgegenſtehende Hinderniß könnte auch eine Wand ohne Dicke, oder ſo dünn wie eine Mauer ſein; vorausgeſetzt, daß es gehörigen Widerſtand zu leiſten im Stande iſt, ſo brächte es, wenn auch kein ſeichter Grund dahinter wäre, durch das Emporſteigen der Grundwellen nichts deſto weniger ein Brechen der Wellen hervor. Es ſind alſo ſicher nur die ſteilen Wände eines ſeichten Grundes oder einer Bank, und nicht die ſeichten Gründe ſelbſt, die wahren Wellenbrecher (brisans). Wirklich brechen ſich die Wellen nur über der ſteilen Wand, und die Brandung verbreitet ſich nicht weiter. Das ſtarke Schäumen erſtrecket ſich nur dann über die Wand hinaus, wenn der Grund ſehr bedeutend ſich erhöht, und die gebrochenen Grundwellen nicht genug Waſſer finden, um ſich zu zerſtreuen, oder wenn ſie viele und ſtarke Unebenheiten des Grundes antreffen. Dieß iſt der Fall über Klippen.

111. Es kann der Druck, mit welchem die Grundwelle gegen eine ſehr hohe Wand getrieben wird, zuweilen nicht genug Kraft haben, um dieſe Welle, beſonders wenn die darüberliegende Waſſerſchichte durch ihre Dicke einen zu großen Widerſtand entgegen ſtellt, bis an die Oberfläche aufſteigen zu machen; aber die Grundwelle erhebt ſich ſtets ſo ſtark, um die, über die Wand hinwegeilende Welle, ſei es auch noch ſo wenig, zu erheben, und ihr die Eigenſchaft einer verkürzten Welle zu geben.

112. Die Erhebung einer Grundwelle verurſacht zuweilen einen Stoß auf den untern Theil eines Schiffes, wenn dieſes zugleich mit einer Welle über die ſteile Wand hinweggeht; aber man muß dieſen, gleichſam zufälligen, Schlag nicht mit der, auf einer großen Ausdehnung eines ſeichten Grundes vorkommenden Rückwirkung verwechſeln (87). Bei einem ſolchen Stoße glaubte man oft, daß das Schiff geſtrandet habe, obgleich ſich bei der Sondirung eine weit größere, als die nothwendige Tiefe vorfand.

113. Die, durch die Grundwellen erhobenen, Wogen können auch eine ſtehende oder Klappenſchwingung hervorbringen. Es iſt ſehr wahrſcheinlich, daß auf der Bank von Terre-Neuve das Aufſteigen der Grundwellen an der ſteilen Wand, in Verbindung mit der, von derſelben Wand zurückgeworfenen Schwingung, die, dort beobachtete ſtehende Schwingung verurſacht (55).

Wenn das Meer nicht ſehr bewegt iſt, und daher die Grundwellen nicht ſehr groß ſind, und ſie begegnen beim Aufſteigen am Strande gerade in dem Punkte, wo ſie ſich ausbreiten würden, einer ſchroffen Böſchung oder Wand, ſo werden ſie auf die Oberfläche des Meeres zurückgeworfen, und breiten ſich dort gerade ſo aus, wie am Strande, wenn ſie das beſagte Hinderniß nicht gefunden hätten, nur in entgegengeſetzter Richtung.

114. Wenn die Grundwellen gegen ein ſteiles Ufer anlaufen, ſo bringen ſie dort dieſelbe Wirkung hervor, wie an den Wänden einer, unter Waſſer liegenden Bank; ſie erheben die, mit ihnen ankommenden Wellen, ſie veranlaſſen ſie, ſich zu brechen, und vermehren oft die Heftigkeit des Rückſtoßes (ressac) (71).

115. Wenn ihr Volumen und ihre Geſchwindigkeit hinreichend ſind, und die darüber liegende Waſſermaſſe nicht zu dick iſt, ſo ſteigen ſie, gedrückt von der, ſie herbeiführenden Wellenſchwingung, an den Böſchungen hinauf; ſie erheben ſich ſehr lebhaft, und man ſieht oft, daß ſie, bis zu einer großen Höhe, die ſchwarzen Felſen, welche das Ufer umgeben, mit weißem Schaum beſpritzen.

116. Dieſes Brechen der Wellen an der Küſte wird oft durch die beſondere Lage der ſteilen Wände vermehrt. Wenn ſich Wellen gegen einen eingehenden Winkel des Ufers oder einer Strandmauer bewegen, ſo werden ſie von zwei Seiten durch die ſteilen Wände zurückgeworfen, die Grundwellen aber nicht, weil ihre Bewegung kein ſolches Zurückwerfen verträgt; dieſe werden unausgeſetzt von der direkten Wellenſchwingung längs den Wänden vorwärts getrieben, und ſchwellen ſich in die Höhe, weil ſie ſich in einen Raum zuſammen drücken müſſen, der immer enger wird, je weiter ſie vorſchreiten. Sie erheben natürlicher Weiſe dadurch auch die, mit ihnen gehenden Wellen, und vermehren die Kraft der Wellenſchwingung; ihre Geſchwindigkeit und ihr Volumen werden immer größer, und endlich ſchlagen ſie mit einer ungeheuren Kraft in der eingehenden Ecke an, und ſteigen zu einer ſehr großen Höhe über die ſchroffe Wand empor. Die, in die Höhe ſpringenden Strahlen und Waſſergarben, welche man längs den Küſten ſieht, kommen nur von den Grundwellen her, welche beiläufig unter ähnlichen Verhältniſſen, wie ich ſie gerade angezeigt habe, wirken. Die Figur 30 zeigt das Profil einer ſolchen, empor ſchießenden Waſſermaſſe.

117. Ich habe oft dergleichen geſehen, die nur durch geringe Wände an der Küſte veranlaßt wurden, und ſich mehr als zwei Klafter über das, ohnehin 1 oder 1½ Klafter höher als die Meeresſohle, gelegene Ufer erhoben. In dem eingehenden, faſt 90 Grade meſſenden Winkel einer, ganz aus Quadern hergeſtellten Ufermauer, ſah ich einen Waſſerſtrahl empor ſchießen, der in der Dicke 8 bis 10 Zoll maß, und ſich mehr als 7 Klafter über die Oberfläche des Meeres erhob.

Wenn die Grundwellen, bei ziemlich hoher See, gegen eine Wand laufen, deren Höhe das Niveau des Meeres nicht viel überſteigt, ſo bildet ſich durch das emporſchießende Waſſer ein Bogen von 20 bis 30 Fuß Höhe, unter welchem man, ohne benetzt zu werden, gehen kann. Dieſe, durch die Fig. 31 dargeſtellte Erſcheinung zeigte ſich oft an dem Meeresdamme von St. Malo, und kann nicht anders erklärt werden, als wenn man ſich vorſtellt, daß die Bahnbewegung der, den Wellen angehörigen, Waſſerelementchen, ſich mit den, an der Wand aufſteigenden, Grundwellen combinirt.

118. Brémontier hat ſich gewiß getäuſcht, indem er behauptet, daß dieſe emporſpritzenden Waſſergarben der Zuſammendrückung der Luft, in den, ſich gegen das Ufer brechenden Wellen zuzuſchreiben wären.

Die, durch das Umrollen oder Kräuſeln der Wellen, wovon ich (103) geſprochen habe, eingeſchloſſene Luft erleidet, ſelbſt an einer ſteilen Küſte, keine ſolche Zuſammendrückung, um eine ſo außerordentliche Wirkung hervorzubringen, wie man ſie hier und da bemerkt. Das Waſſer wird von der, durch das Umrollen der Wellen eingeſchloſſenen Luft leicht durchbrochen, und in Schaum verwandelt, aber niemahls weit emporgeſchleudert.

119. Man kann es nur der Heftigkeit der Grundwellen im indiſchen Meere, und ihrem Beſtreben aufzuſteigen, zuſchreiben, daß das Waſſer an den Felſenbänken, welche die

Attolons der maldiviſchen Inſeln umgeben, haushoch emporſpritzet, und wie eine weiße Mauer anzuſehen, ſchäumend aufwallet. Die, mit ungeheuerer Wuth andringenden Wellen werden auf dieſe Art gebrochen, und können den Inſeln ſelbſt nicht gefährlich ſein *).

120. Eben ſo iſt es mit jener, majeſtätiſch emporſchießenden Waſſermaſſe, welche während der Stürme den Leuchtthurm von Eddiſtone ganz einhüllt, und noch um 12 bis 13 Klafter überſteigt. Dieſes Phänomen iſt in der Fig. 32 nach einer, vom Erbauer des Leuchtthurms, Herrn Smeaton, herausgegebenen Zeichnung dargeſtellt **). Die ungeheure Höhe, bis zu welcher ſich das Waſſer hier erhebt, kann unmöglich von der Zuſammendrückung der Luft herrühren; ſie iſt nichts Anderes, als die Folge anſtoßender Grundwellen, die ſich an einer, vielleicht ſehr weit von Eddiſtone entfernten ſteilen Wand im Grunde des Meeres bilden. Dieſe, durch die Wellenſchwingung mit einer großen Geſchwindigkeit getriebenen Grundwellen, concentriren ſich in einem eingehenden Winkel des ſteilen Felſens, gerade dort, wo der Leuchtthurm ſteht, und jede, gedrückt von der Bewegung der obern Wellen (108), erhebt ſich in der Form eines rieſigen Waſſerſtrahles, ſo wie ich oben davon geſprochen habe. Man kann die Kraft des Anſtoßes, den Druck, welcher die Grundwellen treibt, und ihr Volumen ſchätzen, indem man betrachtet, daß ſie durch 80 Faden (400 Schuh) Tiefe, wie man ſie an der ſteilen Wand von Eddiſtone an der Seeſeite fin-

---

*) Pyrard, Voyage aux Maldives, chap. X. Bernardin de Saint-Pierre. Malte-Brun Précis de géographie universelle t. IV. p. 125.

**) Deuxième recueil des mémoires de l'Ecole des ponts et chaussées. 1808, par M. Lesage, Ingenieur en chef, Inspecteur de l'Ecole.

det, wirken, und daß ſie ſich noch mehr als 25 Klafter über das Niveau des Meeres erheben, alſo Waſſerſäulen von 2 bis 3000 Kubik-Metres, und im Gewicht von 2 bis 3 Millionen Kilogrammen bilden.

121. Der Felſen, das Weib des Lot genannt, im Archipel der marianiſchen Inſeln, erhebt ſich perpendikulär, 350 Schuh hoch, und die Wogen brechen ſich an ſeiner rauhen Stirne mit einer Wuth, welche nur dem ungeheueren Raume, den ſie, bevor ſie ihn erreichen, im großen Ocean zu durchlaufen haben, vergleichbar iſt *). Es iſt erſichtlich, daß es nur ungeheuere Grundwellen ſein können, die, in Folge des großen Druckes gegen den ſteilen Felſen, ſich zu einer ſo großen Höhe vertikal erheben.

122. Warberg in Norwegen liegt 400 Schuh über der Meeres-Oberfläche. Man berichtete, daß während des Sturmes vom 21. Jänner 1820 dieſe kleine Stadt von den Wellen überſchwemmt worden ſei, und führte dieſes Ereigniß, als eine Ausnahme von der gewöhnlichen größten Höhe der Wellen an **); aber Wellen von mehr als 400 Schuh über der Meeres-Oberfläche, würden faſt das Doppelte davon, zu ihrer Höhe über den tiefſten Punkt des Wellenthales, und eine Länge von 4 bis 5000 Schuh gehabt haben. Es iſt ſchwer zu glauben, daß ein Sturm im Kattegat, und eben ſo wenig im großen Ocean, Wellen von ſo ungeheuern Ausmaßen zu erregen im Stande wäre; es iſt daher viel natürlicher, die Ueberſchwemmung von Warberg, den, 400 Schuh in die Höhe ſchießenden, Grundwellen zuzuſchreiben, was doch in die Klaſſe der möglichen Ereigniſſe gehört, weil andere Grund-

*) Précis de Géographie universelle par Malte-Brun t. 4. p. 390.

**) Dictionnaire d'histoire naturelle, par plusieurs Professeurs du jardin du Roi, art. Océan t. XIV.

wellen ſich auch auf 350 bis 450 Schuh, an den Felſen des Lot und von Eddiſtone erheben.

123. Das Phänomen der Teufelsblasbälge, an der Küſte von Cornwallis, iſt auch nichts Anderes als eine Wirkung der Grundwellen. Durch eine lange Spalte in den Felſen der Grotten von Kynann ſteigt eine Säule, wie eine Waſſerhoſe, zu großer Höhe empor, während zu gleicher Zeit ein donnerähnliches Getöſe unter der Erde ſich vernehmen läßt *). Deluc nimmt an, daß die, im Innern der Höhlen ſich brechenden Wellen eine große Menge Luft entwickeln, und dieſe, von neuen Wogen zuſammengedrückt, nicht anders entweichen kann, als, indem ſie ſich durch die Spalte einen Weg bahnt und die beſagte Waſſerſäule mit ſich empor reißt. Es läßt ſich nimmermehr zugeben, daß durch das Brechen der Wellen eine ſolche Luftmenge geſammelt werden könnte, um eine ähnliche Waſſerhoſe empor zu heben, weil die, in Schaum übergehenden, Wellen ſich wohl mit der Luft, in der ſie ſich brechen, mengen, aber keine Luft entwickeln. In einigen Fällen können Wellen wohl, wie ich es zeigen werde (125), etwas Luft vor ſich her treiben, aber die geringe Menge derſelben iſt niemals im Stande, eine Erſcheinung, wie die, um welche es ſich hier handelt, hervor zu bringen, und das Waſſer könnte ſich hier allenfalls ſchäumend, aber nicht in Geſtalt einer Säule, wie eine Waſſerhoſe, zeigen.

Die Theorie der Grundwellen erklärt dieſe Erſcheinung viel beſſer. Die, durch die Wellenſchwingung des Meeres herbei geführten, Grundwellen dringen in die Höhlen von Kynann ein und verurſachen, indem ſie im Hintergrunde anlangen, einen Anſchlag, deſſen Wiederhall im Innern der Felſenhöhle dem Rollen des Donners ähnlich wird. Die Maſſe dieſer, im

*) Guide du voyageur dans la province de Cornouaille, 1828.

Grunde der Höhle angehäuften, und durch neue, ohne Unterlaß heftig anſtoßende Wellen zuſammengedrückten Grundwellen, ſteigt bis zur Spalte und über den Erdboden empor. Auf dieſe Art iſt die Waſſerhoſe nichts Anderes, als ein großer, vom Grunde auf emporſchießender Waſſerſtrahl. Wenn die Luft bei dieſer Erſcheinung eine Rolle ſpielt, ſo geſchieht es nur, weil ſie in einigen Vertiefungen der Decke zuſammengedrückt iſt und vielleicht durch ihren elaſtiſchen Widerſtand die Kontinuität des Waſſerſtrahles hervorbringt, und ſo die ſtoßweiſe Wirkung der Grundwellen unmerklich macht.

124. Der große Waſſerſtrahl, welcher ſich über eine Grotte auf der Inſel Teneriffa erhebt, iſt durch eine ähnliche Wirkung hervorgebracht. Obgleich ſich Herr v. Maizieres auch täuſchte, indem er dieſen Waſſerſtrahl der Wirkung der zuſammengedrückten Luft zuſchrieb, ſo iſt doch nichts deſto weniger wahr, wie er es auch bemerkt hat, daß dieſes Phänomen uns ein Mittel anzeigt, wie man das Waſſer des Meeres auf der Küſte empor heben könne *). Wirklich wäre es hinreichend, an einer, von den Grundwellen gewöhnlich getroffenen, ſteilen Wand eine Aushöhlung von gehöriger Tiefe herzuſtellen, und in der Decke dieſer künſtlichen Grotte eine vertikale Röhre anzubringen, um das Waſſer der Grundwellen zuverläſſig auf eine große Höhe emporſteigen zu machen, ſo lange nämlich das Meer bewegt iſt und höher ſteht als der Scheitel des Grotteneinganges. Die Höhe des Waſſerſtrahles würde von dem Volumen und von der Geſchwindigkeit der Grundwellen abhängen; dieſer und jene ſind ſehr veränderlich, weil die Grundwellen ſelbſt von der Beſchaffenheit des Meeresgrundes, von der Höhe des Meeres, und von der Kraft und Geſchwindigkeit der Wellen abhängig ſind. Die

*) Bulletin de la société philomatique; année 1817, page 97.

Figur 33 zeigt den Durchſchnitt dieſer Art eines hydrauliſchen Widders. ABC iſt die Schwingung der Oberfläche, welche höher liegt, als der Scheitelpunkt c des Einganges zur Grotte; abc ſind Grundwellen, welche ſich durch, früher vorkommende, ſteile Wände unter den Wellen ABC, mit denen ſie bis in die, durch die Figur dargeſtellte Lage fortgeſchritten ſind, gebildet haben. D iſt der Körper einer ſteilen Wand oder eines Quais, E das Innere der Höhle, wohin ſich die Grundwellen begeben, und wo ſie durch die nachfolgenden zuſammengedrückt werden. F iſt ein kuppelförmiger Recipient, in welchem die zuſammengedrückte Luft als Regulator dienen kann; HG iſt die aufſteigende Röhre, HI der, über die Erde emporſtrebende Waſſerſtrahl. Es ſind dieß höchſt wahrſcheinlich dieſelben Anordnungen, welche die Natur in den Grotten von Kynann und Teneriffa zufällig vereinigte.

125. Ich habe (123) geſagt, daß die ſich brechenden Wellen weder Luft hervorbringen noch entwickeln, aber daß ſie ſolche vor ſich hertreiben können. Es ließe ſich in der That die Wellenbewegung eines Meeres, ohne Flut und Ebbe, dazu benützen, um ein Gebläſe herzuſtellen. Es ſei ABCD, Fig. 34, die gewöhnliche Wellenſchwingung des Meeres, BEQ eine, in der ſteilen Wand hergeſtellte, Grotte, BC ihre horizontale Decke, um ein klein wenig niedriger, als die Wellengipfel. Es iſt einleuchtend, daß die Wellen BCD die, zwiſchen ihren Thälern b′c′ und der Grottendecke BD, enthaltene Luft unter die Kuppel G treiben müſſen, und daß dieſe zuſammengedrückte Luft durch die Röhre GH über den Erdboden LM entweichen müſſe. Damit die Grundwellen abcd, bei ihrem Anſtoße an die Wand EQ, in der Kuppel G kein, dem Gebläſe ſchädliches, Brechen der Wellen verurſachen, muß in dieſer Wand eine Oeffnung QNOR hergeſtellt werden, damit die Grundwellen ſich in den Brunnen MRST begeben und dort an der Oberfläche des Waſſers in U ohne Störung brechen

können. Um noch eine, durch die Anhäufung der Grundwellen in dem Brunnen MRST mögliche, Erhöhung des Niveaus XY und den, dadurch erfolgenden Druck auf die, in der Grotte enthaltene Waſſermaſſe zu beſeitigen, muß man eine Verbindung KZ mit dem Meere herſtellen.

126. Es iſt hier der Ort, eine Thatſache anzuführen, welche die Ausführbarkeit dieſer beiden Konſtructionen beweiſet und das wirkliche Vorhandenſein der Grundwellen und ihrer außerordentlichen Kraft, ſelbſt wenn ſie von mittelmäßiger Größe erſcheinen, darthut; übrigens iſt dieſer Fall auch derjenige, welcher mich auf die Entdeckung der Grundwellen brachte.

Die Schleuſe A, Figur 35, welche dazu dient, das Waſſer der, zu dem Walle T, vom weſtlichen Theile der Feſtung la Rochelle gehörigen Gräben B zu erneuern, mündete in eine Art von Baſſin CDEHI, welches gebildet wurde durch den nicht mehr beſtehenden Batardeau CD, durch die alte Kehle DE eines kleinen Forts F, und durch den Steinſporn HI, den man erbaut hatte, um die Schleuſenſchütze vor der Anhäufung des, vom Meere nach U gebrachten Geſchiebes zu bewahren. Durch die Enge EH wurde, obgleich ihre Weite der Schleuſenweite A glich, doch nicht ſo viel Waſſer abgelaſſen, als das Aufziehen der Schütze bei einer Spülung dem Baſſin zubrachte, weil ein, in K ſich befindender Wirbel den Ablauf des Waſſers verhinderte. Auf dieſe Art wurden die Gräben viel zu langſam geleert. Die Geſchwindigkeit des, zwiſchen den Werken auf eine Länge von 800 Klaftern fließenden, Waſſers, war überdieß nicht groß genug, um den Schlamm und die, in den Gräben häufig anwachſenden Waſſerpflanzen mitzureißen, und das, von einigem Zufluſſe ſüßen Waſſers ganz verdorbene Meerwaſſer konnte, ſelbſt bei ſtarker Flut, nicht völlig erneuert werden. — Da bedeutendere Reparaturen an der Kehle DE des Fortes, am

Batardeau CD, und an dem Mauerwerke der Schleuſe A vorzunehmen waren, ſo benützte ich die Gelegenheit, um den Unzukömmlichkeiten, von denen ich eben geſprochen habe, abzuhelfen. Statt des Baſſins CDEHI, ließ ich einen Graben, von gleicher Weite mit der Schleuſenöffnung, herſtellen, der von einer Seite durch den Steinſporn HI, von der andern durch einen Batardeau LM, und die, nach einem eingehenden Bogen neu gebaute Kehle ME des Forts, gebildet wurde. Um dieſen Graben zu verlängern und dem, durch die Spülſchleuſe ausfließenden Waſſer eine ſolche Richtung zu geben, daß es in größerer Menge und mit größerer Geſchwindigkeit den Hafen-Kanal an einem ſolchen Orte und unter einem ſo kleinen Winkel treffe, daß ſich keine ungelegenen Verſandungen bildeten, baute ich auch noch niedrige Dämme NP, im Niveau des Sockels vom Sporne HI, daher ſehr wenig über den Strand erhoben, um die Bewegung des ſteigenden Meeres nicht zu hindern, dabei aber beiderſeits ſo viel Höhe zu gewinnen, damit das Waſſer, auch bei den ſtärkſten Spülungen zuſammen gehalten werde. Dieſe Veränderungen entſprachen ſo gut meiner Erwartung, daß zur Zeit der Springflut die Gräben bei der Ebbe vollkommen geleert, und hernach bei der Flut wieder gefüllt werden konnten. Aber ich hatte, um die Schleuſenſchütze mittelſt einer vertikalen Schraube zu handhaben, auf einem Gewölbe über dem Graben auch eine große gemauerte Plateform angeordnet. Das Meer ließ mich bald erkennen, wie fehlerhaft dieß war. Sobald der Fangedamm, welchen man in EH errichtet hatte, eingeriſſen war, erreichten die, in dem Graben ſich fortpflanzenden Wellen die Schütze mit vielem Ungeſtüm, es ließ ſich ein Getöſe, wie vom Schuße einer Kanone hören, und es bedurfte nur einiger ſolcher Schläge, um das Gewölbe und die Plateform, ob ſie gleich beide aus ſehr großen Werkſtücken und mit aller möglichen Sorgfalt erbaut waren, zu erſchüttern. Der unge-

heuere Andrang erhob die Maſſe der Gewölbſteine und des darüber liegenden, mehr als fünf Schuh hohen Mauerwerkes *), und Alles fiel krachend wieder auf ſeine Stelle zurück. Nach weniger als vier Fluten war die Zerſtörung ſo gut, wie vollendet. Bei jedem Anſchlage ſtieß ein heftiger Rückprall eine Menge Schaum unter dem Gewölbe hervor. — Sobald die Ruhe wieder eintrat, bemerkte man in der Enge EH, obgleich die Schütze geſchloſſen war, ein Zurückfließen des Waſſers.

So lange die Thäler der Wellen abc (erſtes Profil nach der Linie xyz) **), nicht höher waren, als der Scheitel der Wölbung, ſo fand die, zwiſchen der vordern Seitenfläche cd einer Welle und der Leibung des Gewölbes, zuſammengedrückte Luft, indem ſie nicht ſchnell genug durch die für das Schützenſpiel nöthige Oeffnung und die Spalten des auseinander geriſſenen Mauerwerks entweichen konnte, dadurch einen Ausweg, daß ſie, mit Waſſer vermiſcht, in verſchiedenen Strahlen cr hervordrang; wenn aber das Meer hoch genug war, wie in ABC (zweites Profil nach der Linie xyz), um die Wölbung ſtets mit Waſſer anzufüllen, ſo ſah man in dem Punkte c keinen Waſſerſtrahl mehr, weil es auch unter der Wölbung keine eingeſchloſſene Luft mehr gab. Der Anſtoß gab ſich dann durch ein dumpfes Getöſe, wie von einer in der Entfernung abgeſchoſſenen Kanone zu erkennen, wie nicht minder durch die Erhebung des Mauerwerkes, wobei zugleich das Waſſer durch die Falzen der Schütze und durch alle Spalten auf der Plateform emporſpritzte.

---

*) Im Original iſt zwar die Höhe des Mauerwerkes nur mit 0,6 Metre angegeben, die Figur zeigt jedoch 1,6 Metre.

**) In den Profilen iſt die Höhe des Meeres verſchieden angezeigt, im Grundriſſe aber ſehr niedrig angenommen, damit die Dämme N, P erſichtlich werden.

Die Urſache dieſer Erſcheinung ließ ſich in der einfachen Wellenbewegung nicht auffinden. Indem ich ſie mit Aufmerkſamkeit ſtudirte, bemerkte ich, daß, wenn das Meer die niedrigen Dämme N, P, Fig. 35, bedeckte, die, über die 45gradige Böſchung ihrer Köpfe gehenden Wellen auf der ganzen Ausdehnung dieſer Böſchung ſich erheben, während auf dem Radier des Grabens zwiſchen dieſen Köpfen, ſo wie auf dem Meeresbette in Q keine ſolche Erhebung bemerkt werden konnte: nichts deſto weniger pflanzte ſich ein Theil der Wellenbewegung in der Richtung S R, gegen das Ufer fort, während ein anderer Theil dieſer Bewegung ſich in dem Graben mittheilte. Die Theilung geſchah ungefähr in der Gegend des Punktes O, wo die, der Breite des Grabens entſprechende, Wellenparthie ſich an der vertikalen Wand des Dammes N zu erheben ſchien. Dieſe Theilung war ſo in die Augen ſpringend, daß man hätte ſagen können, die in den Graben laufenden Wellen kämen unter jenen hervor, welche ihren Weg in der Richtung S R fortſetzten. Es war leicht zu erkennen, daß die in den Graben dringenden Wellen nur durch die auf dem Radier hinrollenden Waſſermaſſen emporgehoben werden konnten, daß eben dieſe Maſſen von den Wellen gegen die Schleuſenſchütze gedrückt werden, und daß ihre Anhäufung den Waſſerſtand im Graben erhebe und ein Zurückfließen durch die Enge H, E verurſache. Dieſe Waſſermaſſen b′ c′ waren nichts Anderes als Grundwellen, welche an der Ausmündung des Grabens von jenen ſich trennten, die nach der Richtung S, R gegen das Ufer gingen.

Ich ließ das Gewölbe abtragen, und die Seitenwände der Schleuſe wurden bis zur Höhe der Plateform, ſo wie ſie mit punktirten Linien im Profile nach der Linie t v angezeigt ſind, perpendikulär hergeſtellt. Eine einfache Brücke aus hingeſtreckten Bohlen dient jetzt dazu, um die, von den Grundwellen noch immer mit großer Heftigkeit getroffene

Schütze zu handhaben. Das Waſſer ſpritzt jetzt auch noch vertikal empor, aber dieß verurſacht keine andere Unzukömmlichkeit, als zuweilen eine Benetzung der Bohlen und ein leichtes Ueberſpritzen in den Hauptgraben.

127. Die gegen die Schütze der Schleuſe anſtoßenden Grundwellen ſind im Vergleiche mit jenen, die ſich am Felſen Harta, am Weibe des Lot, oder garbenförmig am Eddiſtone, und an andern Punkten erheben, nur von ſehr kleinem Volumen, denn die größten von ihnen haben höchſtens 2 bis 3 Kubik-Metres (60 bis 80 Kubikfuß), und doch hoben ſie, als das Gewölbe noch beſtand, einen Mauerkörper, deſſen Gewicht auf mehr als 28000 Kilogramme geſchätzt werden kann, auf eine Höhe von 6 Decimetres (vielleicht 0,06 Metre ?) empor. Nach dieſen Beiſpielen kann man ſich eine Vorſtellung machen, welche Kraft die Grundwellen großer Meere zur Zeit der Stürme auszuüben im Stande ſind.

128. Die Grundwellen ſind ferner auch die Urſache einer, von den Küſtenbewohnern wohl gekannten, aber bisher nicht gehörig erklärten Erſcheinung. Das Meer, ſagt man, ſpeit Alles, was es verſchlungen hat, wieder aus. Die am Boden des Meeres dahin laufenden und ohne Unterlaß ſich folgenden Grundwellen reißen alle beweglichen Körper, denen ſie begegnen, mit und ſtoßen ſie ans Ufer. Man hat dieſe Wirkung dem, gegen das Ufer ſich bewegenden Strome der ſteigenden Flut zugeſchrieben; aber man muß bemerken, daß der entgegengeſetzte Strom der Ebbe Alles wieder zurück nähme, was die Flut gebracht hat, indeſſen die Grundwellen unabänderlich nach einer Richtung wirken, es mag das Meer ſteigen oder fallen. Von den Wellen geführt, gehen die Körper gegen das Ufer, wenn das Meer auch fällt, und ihre Geſchwindigkeit iſt bei ſteigender See größer, als jene des Flutſtromes. Endlich muß noch bemerkt werden, daß auch Meere ohne Ebbe und Flut Alles an das Ufer werfen;

man kann daher nur den Grundwellen dieſe Wirkung zu= ſchreiben.

129. Wenn man ſich im Meere, nahe am Ufer, badet und den Körper vertikal aufrecht hält, ſo nimmt man die Grundwellen ſehr gut wahr; indem man von der Wellen= ſchwingung emporgehoben wird, fühlt man zugleich an den Füßen das Vorbeigehen einer jeden, gegen das Ufer eilenden Grundwelle.

130. Wenn man nahe am Ufer, auch bei fallendem Meere, ſobald nur eine ordentliche Wellenſchwingung und ein Brechen am Strande Statt findet, zwei Korkkügelchen in das Waſſer wirft, wovon das eine durch einen Kern von Blei ſo ſchwer gemacht worden iſt, daß es nur am Grunde fortlaufen kann, ſo ſieht man das leichte, ſchwimmend der Wellenbewegung gehorchen, ohne daß es ſich, außer durch die Einwirkung des Windes, merklich dem Lande näherte oder von demſelben entfernte, während das andere am Grunde fortrollend an das Ufer getrieben wird.

131. In jenen Seegegenden, wo die ſtärkſten Wogen keine ſteilen Wände treffen, an welchen Grundwellen ſich bil= den könnten, bleiben die zu Boden gegangenen Gegenſtände ewig unter dem Waſſer, ſonſt aber werden alle untergegange= nen Körper von den Grundwellen ſicher an das Ufer geworfen, ſobald wenigſtens ihre Geſtalt und ihre Schwere die Grund= wellen nicht hindert, ſie über bedeutende Abſätze, vor denen ſie liegen bleiben, hinweg zu heben.

132. Man findet oft nach einem Sturme die Opfer desſelben an dem nächſten Ufer derjenigen Meeresgegend, wo der Schiffbruch erfolgte. Durch die Grundwellen ſind ſie da= hin gebracht worden. Dieſe ſind es auch, welche Wallfiſche, Cachalots (Pottfiſche) und andere, von der ſtürmiſchen See in der Nähe des Ufers überraſchte Meeresbewohner auswar= fen. Sei es, daß dieſe großen Thiere ſich zu nahe an den

Strand gewagt haben und dort nicht genug Waſſer fanden, um ſich gehörig zu bewegen; ſei es, daß ihre Kräfte durch Verwundungen oder Krankheiten geſchwächt ſind; ſobald ſie von den an das Ufer laufenden Grundwellen während eines Sturmes ergriffen werden, ſo wehren ſie ſich vergebens, — ſie unterliegen. Gleichſam eingehüllt in dieſe enormen Waſſermaſſen, werden ſie am Grunde fortgeſchleift und endlich an den Strand geworfen, wo ſie bald zu leben aufhören.

133. Die Grundwellen ſind es, welche die Schiffe an die Klippen werfen, welche ſie empor heben, und immer mehr und mehr ihrem Verderben entgegen treiben. Auf dieſe Art tragen die Winde, der Wellenſchlag (60) und die Heftigkeit der Grundwellen gleichmäßig dazu bei, den unglücklichen Piloten ſchiffbrüchig zu machen, wenn er vom Sturme überraſcht wird, bevor er ſich von der Küſte entfernt hat. Aber ein erfahrener und geſchickter Seemann wußte auch neulich in einem wichtigen Falle ſich die Wuth des Meeres zu Nutzen zu machen. Man darf ſich nur erinnern, mit welchem guten Erfolge unſere Flotte während eines heftigen Sturmes, um nicht Menſchen und Fahrzeuge auf das Spiel zu ſetzen, Ballen mit Lebensmitteln in's Meer warf, um ſie der Armee in Afrika zukommen zu laſſen. Die Ballen mögen geſchwommen haben oder zu Boden geſunken ſein, ſie kamen an das Ufer. Im erſten Falle durch die Wirkung des Windes und des Wellenſchlages, im zweiten durch die Grundwellen.

134. Es ſind endlich auch die Grundwellen, welche die 150 bis 1200 Pfund ſchweren Steine mit ſich fortriſſen, als ſie Brémontier auf die Berme im Kanal von St. Jean de Luz gelegt hatte, um zu erfahren, wie viel ſie durch die Wogen darauf verrückt würden. Er fand, daß ſie bei ruhigem Meere um etliche Fuß fortgeſtoßen wurden; während des vom 30. November bis 5. Dezember 1822 dauernden Stur-

mes aber zeigten ſich erſtaunliche Wirkungen durch dieſelbe Urſache, und an derſelben Stelle.

135. Um die Stadt St. Jean de Luz, welche ſeit 1726 durch das Meer zerſtört zu werden bedroht war, weil die Wellen die Dämme überſtiegen, Häuſer umſtürzten, oder ſie mit Sand und Geſchieben erfüllten, davor zu bewahren, baute man im Jahre 1747 eine 230 Klafter lange Mauer zwiſchen der Stadt und dem Strande; im Jahre 1782 wurde dieſe Mauer vom Meere zerſtört. Es iſt wahrſcheinlich, daß die auf den Sand gelegten Fundamente derſelben von den Grundwellen unterwaſchen worden ſind. Man erbaute an ihrer Stelle auf dem durch das Meer gebildeten Hügelchen AOF, Fig. 37, eine Verpfählung, und ſpäter einen Damm aus thoniger, mit Sand gemiſchter Erde, deſſen Oberfläche, wie bei einigen andern Bauten dieſer Art, mit einer Schale von Mauerwerk überdeckt wurde *). Dieſe zu verſchiedenen Zeiten gemachten Arbeiten gaben dem Damme endlich das Profil ABCDEF. Er wurde bei Wiederherſtellung der vom Meere am 26. April 1822 angerichteten Beſchädigungen verbeſſert, indem man 8 Strebepfeiler von 1,5 Metre (4½ Fuß) Dicke, 20 bis 25 Metres (10 bis 12 Klafter) von einander entfernt, auf Abſätzen LM gegründet, in die Erde baute, und die, unter einem Winkel von beiläufig 23,5 Graden, ſorgfältig hergeſtellte Böſchung AB mit einer 3 Schuh dicken Mauerſchale verkleidete. Die Außenfläche dieſer Verkleidung war aus großen flachen Hauſteinen gebildet und durch Quaderſtücke gut eingebunden. Endlich

*) Das Wehr von Vadrineau zu Metz, welches zur Gewinnung eines Gefälles für die Stadtmühlen einen Arm der Moſel um 2 bis 3 Metres aufſtaut, iſt nichts Anderes, als ein, von einer 1,12 Metre dicken Mauerkruſte bedeckter, Sandkörper.

hatte man am Fuße dieſes Dammes, alſo dort, wo er am leichteſten angegriffen werden konnte, zwei, zwiſchen Pfahlreihen eingeſchloſſene, Steinwürfe aus großen Felſenblöcken angebracht. Dieſes, mit ſeltener Vollkommenheit zu Stande gebrachte Bauwerk ſchien den heftigſten Stürmen trotzen zu können; doch wurde es in der Zeit vom 30. November bis zum 5. Dezember 1822 gänzlich zerſtört. Die Wirkungen dieſes außerordentlichen Sturmes ſind durch die Figur angedeutet *).

Ungeheuere Grundwellen, ſo wie ſie in N angezeigt ſind, zogen ſich in die Bai von St. Jean de Luz und ſtießen an den Steinwurf; durch die heftige Erſchütterung der Blöcke brach endlich die Verpfählung, und die großen Steinmaſſen wurden fortgeriſſen. Obgleich ſie, jeder einzeln, ein Volumen von ungefähr 1 bis 1,5 Cub. Metre, und ein Gewicht von circa 4000 Kilogrammen hatten, ſo wurden ſie längs der Böſchung doch größtentheils auf 6 Metres (3 Klafter) Höhe, ja ſelbſt bis auf die Berme B emporgeſchleudert und rollten ſpringend wieder herunter. Neue Grundwellen warfen ſie abermals in die Höhe, und es ſchienen die wüthenden Wogen mit dieſen großen Körpern wie mit leichten Ballen zu ſpielen. Die Verkleidung von Mauerwerk wurde ſehr bald an vielen Stellen auseinander geriſſen, die Trümmer davon halfen die Beſchädigungen vermehren, und hierauf erfolgte die gänzliche Zerſtörung des Dammes. Die Erzählung dieſes erſchrecklichen und bewunderungswürdigen

---

*) Es iſt vielleicht mit Unrecht, daß ich dieſen überaus heftigen Wellenſchlag ſeinen Sturm nenne; denn obgleich das Meer auf's Aeußerſte aufgeregt war, ſo iſt doch kein heftiger Wind bemerkbar geweſen. Es war dieß höchſt wahrſcheinlich ein Zuſtand des Meeres, den die Franzoſen ras de marée nennen, und von dem im nächſten Kapitel gehandelt werden wird.

Schauſpieles könnte übertrieben ſcheinen; ſie iſt es aber nicht.

Bevor noch die Böſchung zerſtört war, ſchlugen einige Grundwellen, ſich brechend, ungefähr auf ihre Mitte K und wurden in ſchönen Garben, welche den Damm überſprangen und große Steine weit gegen die Stadt hin warfen, empor getrieben. Die, bis zum 5. Dezember fortgeſetzte, Anwirkung der Wellen zerſtreute alle Trümmer und vergrub auch die größten Blöcke in den Sand. Nach dem Sturme war nicht allein der Damm auf eine Länge von 70 Klaftern gänzlich verſchwunden, ſondern man fand nicht einmal die geringſten Reſte davon.

Ich werde noch einmal Gelegenheit haben, von dieſem Unfalle zu ſprechen (228), und will hier nur noch bemerken, daß, wenn die Kraft der Grundwellen bekannt geweſen wäre, man ihr auch ohne Zweifel jene ähnlichen Beſchädigungen zugeſchrieben haben würde, welche an dem, zum Behufe der für die großen Bauten von Cherbourg eröffneten Steinbrüche, vom Jahre 1783 bis 1792 *) hergeſtellten und erhaltenen Damme des Hafens Becquet ſich ereigneten. Dieſe Beſchädigungen hätten als Lehre gedient, und man hätte ſich wohl gehütet, einen Steinvorwurf an dem Damme von St. Jean de Luz, der früher ſchon viel, aber ſtets weit weniger, als im Dezember 1822 gelitten hatte, anzubringen. Von dieſem Augenblicke an verlor man faſt die Hoffnung, das Zerſtörte je wieder herſtellen zu können. Das Profil der Auswaſchung iſt in der Figur durch die punktirte Linie abcd angezeigt.

136. Der Hafendamm von Becquet, deſſen ich eben erwähnte, hatte 180 Klafter Länge und 15 Klafter Dicke mit einer bedeutenden Böſchung auf der Seeſeite. Er war aus

---

*) Ceſſart ſagt von 1783 bis 1791.

Zimmerwerk ſorgfältig zuſammengeſetzt und an ſeinem äußern Fuße durch eine Steinſchüttung aus Granitblöcken, in der Größe von 16 bis 18 Cub.-Fuß, und 2000 bis 3000 Pfund Schwere geſchützt. Herr Ceſſart*) ſagt: „Wir hatten das Mißvergnügen, dieſen, mehr als 54,000,000 Pfund ſchweren Dammkörper vom Wellenſchlage durchbrochen und zerſtört zu ſehen.“ Es unterliegt keinem Zweifel, daß es die oben beſchriebenen Grundwellen waren, welche die Granitblöcke in Bewegung ſetzten, ſich ihrer zuerſt zur Zerſtörung des Holzwerkes und dann des ganzen Dammes bedienten. Auf dieſe Art wurden die, zur Beſchützung der Dämme beſtimmten, Steinblöcke zu St. Jean de Luz, ſo wie zu Becquet gerade die Werkzeuge ihrer Zerſtörung.

137. Die Perleninſel, im Archipel der Gefahr, bietet uns ein Beiſpiel, wie Steinblöcke von Grundwellen auf große Diſtanzen empor geſchleudert werden. Dieſe Inſel iſt an einer Seite von mehren natürlichen Dämmen aus Korallenfelſen umgeben. Dieſe Dämme ſteigen hie und da 8 bis 10 Klafter über die Meeresfläche empor, und die, zwiſchen zwei ſolchen Dämmen befindlichen, Waſſerſtreifen haben gewöhnlich eine Breite von 10 Klaftern. Heftige Stürme haben Korallenblöcke über die erſten Dämme hinweg bis auf die Böſchungen der inneren geworfen **). Dieſe Wirkung kann nur den Grundwellen zugeſchrieben werden.

138. Das Brechen der Wellen wird von den Schiffern als ein ſicheres Anzeichen einer Gefahr betrachtet***); doch kann es an irgend einer Stelle der Meeresoberfläche Statt

---

*) Tome I, p. 36.

**) Malte-Brun. Précis de Géographie, Tome 4, p. 420. Voyage des Missionnaires p. 285.

***) Gefahr nennen die Seeleute einen Felſen, eine Klippe, einen ſeichten Grund, gegen welche das Schiff anlaufen könnte.

ſinden, ohne daß ſich deßwegen am Grunde eine Gefahr beſände. Viele derlei Beiſpiele werden in den nautiſchen Inſtruktionen angeführt *). Zwei Urſachen können dieſes trügeriſche Brechen hervorbringen; erſtlich das Begegnen zweier Strömungen, welche, mit großen Geſchwindigkeiten ſich bewegend, an einander ſtoßen und das Meer ſchäumend empor treiben, zweitens die Grundwellen.

139. Ich habe erklärt (65), daß gleiche, ſich begegnende Wellen an einander ſtoßen und ſich brechen, und es iſt einleuchtend, daß wenn dieſe Wellen Grundwellen mit ſich führen, der Zuſammenſtoß dieſer letzteren ein doppeltes Emporſpritzen des Waſſers hervorbringt. Man kann leicht begreifen, bis zu welcher Höhe das Waſſer auf dieſe Art in den großen Meeren, wo rieſenmäßige Wogen auch ſehr voluminöſe Grundwellen bedecken, ſich erheben kann. Malte-Brun ſchreibt dieſe Erſcheinung dem zu, daß die Wellen zuweilen durch einen Windſtoß oder durch einen Strom plötzlich angehalten werden; aber obgleich der Wind die Wellen zurücktreiben und ſie, ſo wie die Strömungen, brechen kann, ſo iſt doch leicht einzuſehen, daß nur die Grundwellen im Stande ſind, ſolche Waſſermauern aufzuthürmen, denen ſich kein Schiffer ungeſtraft nähern dürfte **).

140. Jetzt, wo die Grundwellen und ihre Weſenheit durch das bis jetzt Geſagte hinlänglich bekannt ſind, können

---

*) Instructions nautiques sur les côtes de la Guiane française par M. Lartique, Lieutenant de vaisseau. 1823. Instructions nautiques sur la navigation de la mer de la Chine, par James Horsburgh, traduites par M. Predour, Lieutenant de vaisseau. 1824. Instruction nautique sur le canal de Mozambique, par le même, traduite par M. Nonay, Lieutenant de vaisseau. 1824.

**) Malte-Brun. Précis de Géographie universelle, Tome II, p. 338.

ſich die Seeleute in dieſer Beziehung nicht mehr irren; denn das, durch den Stoß der Grundwellen an ſteilen Wänden hervorgebrachte, Brechen der Wellen iſt ſehr verſchieden von jeder andern Art der Brechung. Das Waſſer erhebt ſich vertikal und bildet eine ſchäumende Maſſe, ungefähr in der Geſtalt eines Blumenkohls, fällt in ſich ſelbſt zurück, oder verbreitet ſich hell ſchäumend über die Klippen, welche nach der Richtung der Wellenbewegung hinter der ſteilen Wand liegen; es gibt nur eine Wellenbewegung nach einer einzigen Richtung; die ſtärkſten Wellen erblickt man vor der ſteilen Wand. Das Brechen der, gegen einander zuſammenſtoßenden, Grundwellen aber, wenn nämlich keine Untiefe vorhanden iſt, befindet ſich, obgleich ſich eine ähnliche ſchäumende Maſſe zeigt, zwiſchen zwei Wellenbewegungen, die in entgegengeſetzten Richtungen vorrücken. — Was das Brechen der Wellen durch die Bewegung zweier Strömungen anlangt, ſo geſchieht dieß nur bei geringer Erhebung des Waſſers, und es erzeugen ſich Wirbel, welche den Strömungen, die ſie hervorgebracht haben, folgen.

141. Wir haben geſehen (92), daß unter den gegen das Ufer laufenden Wellen der Meeresoberfläche ſich faſt immer Grundwellen befinden, weil es faſt immer im Grunde des Meeres ſteile Abſätze gibt, welche ſie hervorbringen. Dieſe Grundwellen häufen, indem ſie unaufhörlich gegen den Strand ſteigen, dort, bei ſtürmiſcher See, eine bedeutende Waſſermaſſe an, wodurch das Meer längs der Küſte nothwendiger Weiſe höher ſteigt und gezwungen wird, ſich um Vieles weiter auszubreiten, als zur Zeit der Windſtille. Bei den großen Fluten der Syzigien ſind die Grundwellen häufiger, voluminöſer, und von einer viel größeren Geſchwindigkeit getrieben, als ſonſt, weil die bedeutende Waſſermaſſe und die Kraft des Windes gleichmäßig dazu beitragen, große Wellen hervorzubringen. Die, durch die Grundwellen an das Ufer

geführte Waſſermenge iſt ſehr bedeutend, und das Meer ſteigt dort weit höher, als es durch die bloße Wirkung der Winde ſtiege, wenn dieſe nämlich allein, und ohne Beihilfe der durch ſie erregten Grundwellen, die Bewegung der Waſſermaſſe veranlaſſen könnten. Auf dieſe Art muß das Meer unter denſelben Umſtänden ſich an einem ſanften Strande höher erheben, als an einem ſteilen Ufer, wo Tiefe genug vorhanden iſt, um keine Grundwellen zuzulaſſen.

142. Dieſe Anhäufung des Waſſers der Grundwellen am Strande, und vorzüglich in den Buchten, gibt nothwendig zu Strömungen Veranlaſſung, welche, in Folge des Gefälls-Unterſchiedes, durch das der See wieder zulaufende Waſſer gebildet werden.

Dieſer Urſache konnte man bisher, weil man ſie nicht kannte, auch nicht die von ihr herrührenden zufälligen Strömungen zuſchreiben.

Sechstes Kapitel.

Von dem Toben des Meeres bei ruhiger Luft und von der Springflut in Flüſſen.

1. Von dem Toben des Meeres bei ruhiger Luft.

143. Dieſe höchſt merkwürdige Erſcheinung in dem Meere der Antillen iſt, in Beziehung auf den Anblick, den ſie gewährt, ſehr gut beſchrieben worden; aber man hat nicht erklärt, wodurch ſie hervorgebracht wird.

144. Das Toben des Meeres bei ruhiger Luft, von den Franzoſen ras de marée genannt, iſt eine ſehr heftige Wellenbewegung des Meeres, ohne daß der Wind, dort, wo ſie Statt findet, die Urſache davon zu ſein ſcheint.

145. Wenn dieſes Toben auf der Rhede von St. Pierre de la Martinique ſehr heftig iſt, ſo ſcheint das Meer, von der Stadt aus geſehen, ruhig und ſtille zu ſein, man kann die großen Wellenbewegungen der Oberfläche nur nach dem Schwanken der Schiffe beurtheilen, welche gezwungen ſind, ſich jener Bewegung zu überlaſſen; aber obgleich kein Wind bläſt, ſo ſieht es nahe am Ufer nicht eben ſo aus. Wellen von ungeheuerer Größe ſchreiten, ſtets wachſend, gegen den Strand, und brechen ſich daſelbſt mit einem außerordentlichen Getöſe *).

146. Bis jetzt kannte man die Urſache dieſer Erſcheinung nicht, und Alles, was man davon wußte, iſt: daß die Orkane und bedeutenden Windſtöße von Guadeloupe ein ſolches Toben des Meeres auf Martinique, und umgekehrt wieder, die Orkane und Windſtöße von Martinique ein Toben des Meeres auf Guadeloupe veranlaſſen.

147. Meine Theorie der Grundwellen erkläret dieß vollſtändig. Die, von einem Orkane bei Guadeloupe erregten gigantiſchen Wogen pflanzen ſich in die offene See fort, und ſchreiten bei hinlänglicher Meerestiefe ungeſtört vorwärts, indem ſie nur allmählig ſchwächer werden, je nachdem ſie ſich von dem Orte entfernen, wo ſie hervorgebracht worden ſind. Wenn ſie vor der Inſel Martinique anlangen, alſo eine ſo große Diſtanz durchlaufen haben, ſind ſie bereits viel kleiner und vorzüglich viel niedriger geworden; ihre geringe Wölbung macht die Unebenheiten der Meeresoberfläche faſt unmerklich, und die See ſcheint ruhig zu ſein. So ſchwach auch dieſe Wellen geworden ſein mögen, ſie haben doch noch ſehr große Ausmaße, und bilden, nachdem ſie bei ihrem Anlangen auf der Rhede den ſteilen Abſätzen des ſich erhebenden Meeresgrundes begegneten,

---

*) **Description nautique des côtes de la Martinique, par M. P. Monnier, Ingénieur hydrographe 1828.**

an dieſen Wänden verhältnißmäßig auch Grundwellen von außerordentlicher Größe (92). Durch die gähe Wirkung des abhängigen Grundes und die ſteilen Wände nehmen dieſe Wellen beim Anlaufen gegen das Ufer eine immer mehr verkürzte Geſtalt an, ihre Höhe vergrößert ſich ſchnell, und ſie tragen wieder dazu bei, daß die Wogen, durch welche ſie gebildet und herangebracht wurden, an Größe zunehmen. Auf dieſe Art geſchieht es, daß die Wellen, welche in der offenen See ſich ſo wenig erhoben, bei ihrer Ankunft am Strande durch ihre Höhe um ſo mehr Erſtaunen erregen, als man die Urſache nicht wahrnimmt, wodurch der Uebergang von der anſcheinenden Ruhe der offenen See zum wüthenden Toben am Ufer vermittelt wird, ein Toben, welches aber nur dann ſich zeigt, wenn Grundwellen vorhanden ſind. Es iſt natürlich, daß die ungeheuren Grundwellen am Ufer ſelbſt ſich kräuſelnd aufrollen und ſchäumende Waſſerberge bilden, die mit großem Getöſe ſich brechen.

148. Der Unfall, welcher den Schutzdamm von St. Jean de Luz traf (135), iſt wahrſcheinlich auch die Folge eines ſolchen Tobens am Ufer geweſen. Irgend ein heftiger Windſtoß, welcher das Meer zwiſchen dem gasconiſchen Meerbuſen und der Spitze von Grönland in einer großen Entfernung von den Küſten Frankreichs traf, verurſachte eine große Erregung desſelben, deren Wirkungen aber nirgends bedeutender waren, als zu St. Jean de Luz, weil dieſer Punkt ſich im Hintergrunde eines Buſens befindet, wo ſich die Grundwellen concentriren konnten (116).

149. Die Erſcheinung des Tobens am Ufer bei ruhiger Luft iſt an verſchiedenen Orten bekannt; man hat ſie an den Küſten von Caracas und von Guyana, dann auch unter den hohen Breiten der Nordmeere bemerkt. Sie iſt ſo gefährlich, daß man den Schiffern vorſchreibt, zu der Zeit, wo ſie ſich zu zeigen pflegt, die Rhede zu verlaſſen und die offene See zu gewinnen.

150. Man ſagt, daß ſie auch an den Küſten des Kanals la Manche vorkomme, und nennt jene von Honfleur, Herpin und Portland, aber dieß iſt nicht dieſelbe Erſcheinung, wie in dem antilliſchen Meere; denn ſie wird durch die Schnelligkeit des Flutſtromes im beengten Raume und durch ſeichten Meeresgrund hervor gebracht.

151. Die Stöße eines Erdbebens unter dem Meere, wodurch ungeheure Wogen erregt werden, können auch Veranlaſſung dazu geben, daß ſich an den Küſten, wohin die Wellen auslaufen, ein Toben bei ruhiger Luft erzeuge; aber man darf deßwegen nicht jede, durch ein Erdbeben an der Küſte veranlaßte Meeresbewegung, wo das Waſſer plötzlich vom Ufer zurücktritt und ſtürmend ſich wieder gegen das Land wirft, dafür halten. Denn dieß iſt oft nichts Anderes, als die Folge davon, das eine bedeutende, von ihrer Stelle gerückte Waſſermaſſe, hin und her ſchwankt, um ſich wieder in das Gleichgewicht zu ſetzen. Ein ähnliches Anſtrömen des Waſſers gegen das Ufer, aber doch auch eine, von dem in dieſem Kapitel abgehandelten Phänomen ganz verſchiedene Erſcheinung, könnte durch die heftige Exploſion eines mit Pulver beladenen Schiffes, oder eines Meteors hervorgebracht werden.

2. Von der Springflut in Flüſſen.

152. Sie iſt eine ganz beſondere Wellenbewegung, welche in vielen Flüſſen der Ankunft der Flut vorausgeht. Dieſes eigenthümliche Phänomen heißt in der Dordogne, Mascaret, in dem Amazonen-Strome the rollers (die Walzen, die Cylinder), die Indier nennen ſie Pororoca*);

---

*) Voyage de la Condamine. Instructions nautiques sur la côte de la Guyane française, par M. Lartique 1837. Malte-Brun, Précis de géographie; t. 5. p. 669.

in dem Fluſſe Hoogly, einem Arme des Ganges, wird ſie Bore genannt *), ſie iſt unter dem Namen Barre (Waſſerwand) beim Zuſammenfluſſe des Tigris und Euphrats, in der Seine und in mehreren anderen Flüſſen, wo ſie, wenn auch nur ſchwach bemerkt wird, bekannt.

153. Die Springflut beſteht aus zwei, drei, manchmal auch aus vier ſehr hohen, ſehr kurzen und ſehr ſchnellen Wellenreihen, welche die ganze Breite des Fluſſes einnehmen, eine bedeutende Strecke in ſeinem Bette ſich aufwärts bewegen, zuweilen an ihren Gipfeln ſchäumen, Alles, was ihnen begegnet, niederwerfen, und ein erſchreckliches Getöſe hören laſſen.

154. Der Pororoca im Amazonen-Strome und der Bore im Hoogly ſind die zwei fürchterlichſten Erſcheinungen dieſer Art; ſie erheben ſich 12 bis 15 Fuß hoch, und kündigen ſich ſchon auf mehr als zwei Lieues Entfernung durch ihr Gebrüll an. Der Mascaret in der Dordogne erhebt ſich nur 5 bis 6 Fuß hoch. In Europa kennt man keine größere Springflut.

155. Die Geſchwindigkeit des Pororoca iſt ſo groß, daß das Meer, anſtatt durch ſechs Stunden zu ſteigen, nur eine oder zwei Minuten braucht, um zu ſeiner größten Höhe zu gelangen. Der Mascaret der Dordogne durchläuft im Flußbette eine Strecke von ungefähr 2 Lieues von St. Pardon bis Libourne, in 33 oder 34 Minuten, was einer mittlern Geſchwindigkeit von 4,5 Metre (13 — 14 Fuß) in der Sekunde entſpricht. Dieſe Geſchwindigkeit iſt aber noch viel kleiner, als jene der Wellen von Royan nach Bordeaux,

---

*) Instructions nautiques sur le port de Bombay et ses environs, les îles Laquidives et Maldives, la rivière de Calcutta et la baie du Bengale, traduites de l'anglais d'Horsburgh, par M. Nonay, Lieutenant de vaisseau 1827.

welche nach Brémontier's Beobachtung im Mittel 7,65 Metre per Sekunde beträgt (23 Fuß).

156. Man hat ſich bemüht, die Urſache dieſer Springflut zu ergründen. Brémontier glaubte, daß die Flut ſich in lauter dünnen, über einander wegfließenden Lagen erhebe, und daß, in Folge der größeren Geſchwindigkeit der oberen Schichten, alle zuſammen zugleich, in einem Punkte anlangten, und durch ihr Zuſammentreffen die Springflut gebildet würde. Andere haben ſich begnügt zu ſagen, daß dieſe Erſcheinung daher rühre, daß der an der Ausmündung des Fluſſes längere Zeit zurückgehaltene Flutſtrom endlich eine größere Gewalt erlange, und mit bedeutender Geſchwindigkeit das Waſſer im Flußbette aufwärts führe. Wenn aber die Flut nur unter ſolchen Umſtänden in den Fluß eindränge, ſo würde ſie, ſo reißend auch ihr Strom ſein mag, ſich doch nur wie eine große Spühlung in einem Kanale ausbreiten können.

Dieſe Meinung gehört dem Herrn Bidone, welcher das Phänomen durch ſeine Theorie der Widerſtröme zu erklären verſuchte *). Aber ſeine Erklärung ſcheint mir nicht richtig und erſchöpfend, denn, indem er die Springflut als ein Zurückdrücken des Flußwaſſers durch das Meer betrachtet, gibt er keineswegs die Urſache jener hohen Wellen oder Waſſerhügel an, welche zu gewiſſen Zeiten der ſteigenden Flut vorangehen. Dieſe Hügelchen ſind nach ihrer Geſtalt ſehr verſchieden von jenen abgetreppten Wirbeln, welche Herr Bidone durch allmählige Anſchwellungen, deren Oberflächen zwar ſtufenartig, aber an ihren Rändern ſtets ganz glatt ſich bildeten, erhalten hat. Es iſt übrigens noch zu bemerken, daß die Wirbel oder Anſchwellungen, welche Herr Bidone bei ſeinen Verſuchen hervorbrachte, von der plötzlichen Unterbre-

---

*) Expériences sur la propagation des remous, déjà citées.

chung einer Strömung, indem er eine Schütze ſchnell herab=ließ, herrühren, während das Hinderniß, welches das ſteigen=de Meer dem Laufe des Fluſſes entgegengeſetzt, nicht plötzlich, und eben ſo wenig abſatzweiſe und ſtoßweiſe wirkt. Ferner iſt es nicht ausgemacht, daß der Fluß unterhalb der Wäſſer des ſteigenden Meeres, welche ſich in entgegengeſetzter Richtung ausbreiten, zu ſtrömen aufhört. Die Theorie der Wirbel reicht demnach nicht aus, es muß noch eine andere Urſache geben, wodurch jene Vorläufer des hohen Meeres gebildet werden, welche die Springflut charakteriſiren, und das Phänomen ſo erſtaunenswürdig machen. Dieſe Urſache iſt die Bewegung der Grundwellen, deren Theorie die Frage vollkommen beant=wortet.

157. Das, anfänglich durch die Strömung des Fluſſes zurückgehaltene, ſteigende Meer verſammelt an der Mündung eine große Waſſermenge, deren bedeutende Wellen bis zu einer anſehnlichen Tiefe ihre Bewegung fortpflanzen, und große Grundwellen veranlaſſen. Sobald das Meer hinläng=liche Höhe erlangt hat, fängt die Flut an, in den Fluß einzu=laufen, die Oberfläche des Waſſers bildet eine lange abhängige Fläche, welche das Niveau der hohen See mit der Ober=fläche des Fluſſes vereinigt, und weil die Wellen gewöhnlich eine größere Geſchwindigkeit haben, als die Strömung, auf welcher ſie ſich befinden (7), ſo laufen die großen Wellen der Flut voran, und ihre Grundwellen dringen zu gleicher Zeit, wenn das Bett kein Hinderniß entgegengeſetzt, in den Fluß ein. Das Waſſer des Fluſſes fügt ſich den Formen der von der See herkommenden Wellen, und geſtattet auf dieſe Art den Grundwellen, in ſeinem eigenen Bette, unter ſich einen Durchgang. So lange die Grundwellen eine zulängliche Waſ=ſermaſſe über ſich haben, ſtören ſie die Wellen der Ober=fläche nicht im Geringſten; wenn ſie aber mit den Wellen, un=ter welchen ſie ſich befinden, im Strome endlich auf jenen

Punkt gelangen, wo die Oberfläche der Flut in jene des Fluſſes übergeht, ſo finden ſie nicht mehr eine ſolche Waſſermaſſe, die im Stande wäre, ſie zuſammen zu halten; ſie verurſachen eine Erhöhung der oberen Wellen, indem ſie ſelbſt durch den Druck der in Schwingung befindlichen Flutmaſſe, und durch den Widerſtand des Flußwaſſers ſich in die Höhe zu ſtrecken gezwungen ſind. Dadurch erlangen die erſten Wellen auf der, von der Fluthöhe zum Waſſerſpiegel des Fluſſes abhängigen Fläche eine Höhe, welche ſie um ſo fürchterlicher macht, je größer die Geſchwindigkeit der Wellen, und jene des Fluſſes iſt. Das hohe Meer geſtattet aber nur den erſten Grundwellen, die Springflut hervorzubringen, denn die Menge des Waſſers laſtet auf den folgenden, und erhält ſie in ihrer gewöhnlichen Geſtalt, wodurch ſie dem Anblick entzogen werden.

158. Der Pororoca und der Bore unterſcheiden ſich von dem Mascaret der Dordogne nur dadurch, daß die Maſſe der in den Amazonen-Strom und in den Hoogly gelangenden Grundwellen viel bedeutender iſt, und daß die, von den gigantiſchen Wogen der Flut in jenen Seegegenden herangetriebenen Grundwellen, nebſt einer ungeheuren Geſchwindigkeit, eine ohne Vergleich größere Wuth zeigen. Die Wirkung der Grundwellen, bei der Bildung des Mascaret, des Pororoca und des Bore iſt übrigens ganz dieſelbe, als wenn ſie mit ihren Wellen gegen den Strand liefen, oder wie bei dem Toben des Meeres am Ufer, bei ruhiger Luft (ras de marée). Ich habe oft in dem kleinen Hafenkanale von St. Jean de Luz die Wirkung der erſten, durch das ſteigende Meer herbeigeführten Grundwellen beobachtet. Sie bringen ſo lange, bis das Meer hoch genug wird, damit die in dem Kanale anlangenden Wellen Waſſer genug finden, um nicht durch die Grundwellen in ihrer Geſtalt verändert zu werden, eine Aufeinanderfolge von Hügelchen hervor, welche jenen des Mascarets vollkommen gleichen.

159. Die Figur 39 gibt das nach dem Augenmaß gezeichnete Profil des Mascarets der Dordogne nach der Achſe des Fluſſes. P Q iſt das Flußbett, A B das Niveau der Oberfläche, H eine Welle im Fluſſe; O'C'D' iſt das Niveau des ſteigenden Meeres für den, durch die Figur dargeſtellten Zeitmoment; O C D ſind Wellen an der Meeresoberfläche, welche dieſem Niveau entſprechen; o c d ſind die dazu gehörigen Grundwellen; die Kurve D'E'F'G'B' zeigt, wie das Niveau des ſteigenden Meeres ſich mit dem Waſſerſpiegel des Fluſſes vereinigt, doch nur für den Fall, daß keine Wellenbewegung Statt findet; E F G ſind drei auf dieſer Vereinigungsfläche gebildete Wellen, ſie ſind durch die Grundwellen e f g empor gehoben, und bilden den Mascaret. Die erſte G iſt am meiſten über den Waſſerſpiegel des Fluſſes A B erhoben, denn ihre Grundwelle g wirkt verhältnißmäßig mit der größten Kraft, weil ſie die geringſte Waſſermaſſe über ſich hat, den Widerſtand der Strömung unmittelbar empfindet, und beim Vorwärtsſchreiten auch die Grundwellen des Fluſſes, wie jene h aufnimmt. Die Höhe der andern Wellen des Mascarets F E nehmen in Beziehung auf die Oberfläche der ihnen vorhergehenden Wellenthäler, in dem Maße ab, als die Waſſerhöhe zunimmt, weil die Grundwellen f und e um ſo weniger Höhe erlangen können, als über ihnen eine größere Waſſermaſſe liegt. Endlich bemerkt man an der Stelle D, welche durch ein viertes Hügelchen des Mascarets, wie es öfter geſchieht, eingenommen werden könnte, nur eine gewöhnliche Welle, weil die dazu gehörige Grundwelle nicht Kraft genug hat, ſie zu erheben.

160. Die oben gegebene Erklärung der Springflut in Flüſſen ſcheint um ſo richtiger zu ſein, als ſie gleichmäßig über alle Einzelnheiten der Erſcheinung hinlänglichen Aufſchluß gibt. So hat man bemerkt, daß der Mascaret der Dordogne auf dem größten Theile der Länge ſeines Laufes

nur glatte Wellen zeigt, wenn er aber über Sandbänke hinweg gehet, ſo brechen ſich ſeine Wellen, und ſcheinen an ihrer vordern Seite überzuhängen. Es iſt klar, daß dieſe Wirkung von den Grundwellen herrührt, die, indem ſie gegen den ſeichten Boden anſteigen, ſich ſchnell erheben, und die Wellen brechen machen.

Wenn der Mascaret zum Beiſpiele über die Sand- oder Felſenbank p r q gehet, ſo erheben ſich die Grundwellen f g zur Höhe f″ g″, und die Wellen F G der Springflut zur Form F″ G″. Die letzte bricht ſich an ihrem Gipfel mit Ungeſtüm.

161. Man hat wahrgenommen, daß die Springflut auch Steine empor wirft. Dieſe werden vom Grunde des Fluſſes durch die Grundwellen an den ſteilen Bänken empor geriſſen, die ihnen mitgetheilte Geſchwindigkeit erhebt ſie bis in die Wellen der Springflut, und von dieſen werden ſie durch die Bahnbewegung der Waſſertheilchen, ſo wie von einer Schleuder, in die Höhe getrieben, eine Erſcheinung, welche am Ufer des Meeres oft Statt hat, wenn ſich während eines Sturmes die Wellen mit Heftigkeit brechen. Ich habe zuweilen geſehen, daß ein ganzer Flug von Kieſeln, in der Größe eines Balles, ſo wie aus einem Steinmörſer, durch emporſpritzende Waſſergarben geſchleudert wurde.

162. Man hat ferner bemerkt, daß die Springflut bald in der Mitte des Fluſſes höher ſei, als an den Ufern, bald gänzlich die Ufer verlaſſe, um ſich im Stromſtriche zu zeigen, bald endlich in einigen Theilen des Fluſſes, im Gegentheile, wieder am Ufer bedeutender ſei, als in der Mitte. Die Urſache davon liegt darin, daß die Wellen über einem ſanften und ſeichten Abhange weniger groß werden, als dort, wo eine große Waſſertiefe Statt findet (89), und daß die über die ganze Breite des Fluſſes ſich ausdehnenden Grundwellen nothwendiger Weiſe in der Mitte des Stromes, dort wo die größten

Wellen ſind, ein viel größeres Volumen haben, und die Wellen der Springflut mehr empor heben, als an den Ufern, wo die Wellenbewegungen ſchon ſehr geſchwächt, und ihre Grundwellen ſo unbedeutend geworden ſind, daß ihre Wirkung beinahe völlig verſchwindet. Wenn aber der Fluß ſteile Ufer und ungefähr eine gleiche Tiefe in ſeiner ganzen Breite hat, und es finden ſich nahe am Ufer gäh ſich erhebende Bänke, deren Ausdehnung den Stromſtrich nicht erreicht, ſo wird die Springflut am Ufer, ſo wie bei Begegnung von was immer für einer Erhöhung des Grundes, empor gehoben, ja ſelbſt gebrochen, während in der Mitte des Fluſſes gar keine Veränderung merkbar iſt. Wenn endlich die Richtung des Fluſſes ſich plötzlich verändert, und die Springflut, ſtatt perpendikulär auf die Axe desſelben, in einer ſchiefen Linie vorwärts ſchreitet, ſo kann ſie an dem getroffenen Ufer ſehr heftig werden, denn ſie hat das Beſtreben, an demſelben hinauf zu ſteigen und ſich zu brechen, wie die gegen den Strand laufenden Wellen (103).

163. Das Phänomen der Springflut iſt nicht das ganze Jahr hindurch wahrzunehmen, auch ſelbſt nicht alle Tage in jener Zeit, wo ſie ſich gewöhnlich zu zeigen pflegt, denn es gehört dazu, daß das Meer durch hinlänglich ſtarke Wellen erregt ſei. Ungefähr zur Zeit der Frühlingsnachtgleiche ſammelt ſich durch das Schmelzen des Schnees in der Dordogne eine ſo große Waſſermaſſe, daß die von der Undulation des ſteigenden Meeres herbei geführten Grundwellen im Flußbette unter der Niveauvereinigungsfläche D′E′F′G′B′ fortrücken können, ohne die Geſtalt der über ihnen befindlichen Wellen merkbar zu ändern; es findet dann kein Mascaret Statt. Zu andern Zeiten, wenn der Fluß wenig Waſſer führet, und die Vereinigungsfläche mehr Gefälle hat, wirken die Grundwellen, ſo wie ich es beſchrieben habe (159). Auch iſt es nothwendig, daß das Meer eine hinlängliche Höhe erreiche, damit ſeine Wellen und Grundwellen ſtark genug werden

können. Dieß trifft nur in den Tagen der Meeresſpringflut zu, an welchen ſich auch der Mascaret am lebhafteſten zeigt; zur Zeit des kleinen Meeres iſt er ſelten bemerklich. Vorzüglich bei den Fluten, während der Syzygien iſt er am beſten wahrzunehmen, weil zu dieſen Zeiten der Fluß ſehr klein iſt, das Meer aber zu ſeiner größten Höhe ſteigt, die Grundwellen daher verhältnißmäßig mit mehr Kraft wirken können. Der Mascaret wird dann ſehr fürchterlich und unglückbringend für Jeden, der ihm begegnet. Die vordere Seite Gg' ſeiner erſten Welle iſt ſehr hoch und ſehr ſteil, und es wird Alles, was ihm entgegenkommt, umgeſtürzt und untergetaucht. Die Schiffer auf der Dordogne ſind ſehr beſorgt, ſich ihm nicht auszuſetzen, und wenn ſie zufälliger Weiſe von ihm überraſcht werden, ſo eilen ſie, eines der Ufer zu gewinnen, wo zu dieſen Zeiten der Mascaret weniger heftig iſt, und wenden ihm das Vordertheil des Fahrzeuges zu, welches unfehlbar verloren wäre, wenn der Mascaret es von der Seite ergreift.

164. Man ſieht daher, daß der Mascaret ſich nur dann zeigt, wenn die Höhe des Meeres und die Kraft der Wellen zur Hervorbringung der Grundwellen günſtig ſind, und wenn zugleich die niedrigen Flußwäſſer es geſtatten, daß die Grundwellen auf jene der Oberfläche einwirken, was wohl einen Beweis gibt, daß die Grundwellen die wahre Urſache des Mascarets ſeien.

165. Man könnte wohl fragen, warum der Mascaret in der Dordogne, aber weder in der Gironde, noch in der Garonne, welche doch, auf den erſten Anblick, eine gleiche Lage haben, Statt finde. Mir ſcheint, daß die, in die Gironde eindringenden, Grundwellen in derſelben genug Waſſer finden, um unter der Wellenſchwingung des Fluſſes unbemerkt fortzurücken. In der Dordogne finden ſie weniger Waſſer, und ſind bei ihrer großen Kraft im Stande, den Mascaret hervorzubringen; in der Garonne werden ſie entweder durch die

Waſſermenge zuſammengedrückt und durch die Lage der Inſeln an der Landſpitze von Ambès geſchwächt, oder ſie zerſtreuen ſich hinter dieſem Punkte in irgend einer großen Waſſertiefe. Es ſcheint, daß ſich der Mascaret einſt auch in der Garonne gezeigt habe; einige, in ſeinem Flußbette vorgegangene Veränderungen haben ihn verſchwinden gemacht. Es fehlt uns zwar an hinlänglichen Beobachtungen über dieſen Gegenſtand, aber dieſes Verſchwinden beſtätiget unter andern auch die Richtigkeit der von mir gegebenen Erklärung; denn wenn das Phänomen von der Wirkung der Flut an der Oberfläche abhinge, ſo hätte es, weil in dieſer Beziehung keine Veränderung vorgegangen iſt, die nicht eben ſo gut auf die Dordogne als auf die Garonne Einfluß gehabt hätte, auch in der Dordogne verſchwinden müſſen.

166. Man berichtet, daß in dem Hoogly-Strome der Bore nur an ſeichten Stellen gefährlich ſei, und daß ein, auch noch ſo ſchwaches, Fahrzeug an einer Stelle, wo ſich eine große Tiefe befindet, von ihm nichts zu befürchten habe, während es an einer ſeichten Stelle ganz ſicher zu Grunde gehe *). Dieſe Thatſache beweiſet auch, daß der Bore, ſo wie der Mascaret nur von der Wirkung der Grundwellen herrühre. Horsburgh ſchreibt dieſe Erſcheinung dem zu, daß, bei großen Tiefen, die Wellen nicht auslaufen können, aber es wirket dabei durchaus keine Art von Auslaufen der Wellen (deferlement), und das, was Horsburgh dafür anſieht, iſt nur Wirkung der Grundwellen. In dem Hoogly-Strome, ſo wie in allen andern Wäſſern, dehnen ſich die Grundwellen, wenn ſie mit großer Geſchwindigkeit an ſteilen Wänden oder an Abhängen eines ſeichten Grundes empor ſteigen, in die Höhe, erheben die über ihnen liegenden Wellen und werden ſelbſt außerordentlich ungeſtüm; ſobald ſie aber, darüber hinaus, wieder in

*) Instructions nautiques sur le port de Bombay, déjà cit.

eine große oder wenigſtens der Wellenſchwingung angemeſſene Tiefe kommen, ſo verlieren ſie ſich in der Waſſermaſſe (98) und wirken nicht mehr auf die oberen Wellen. Daher kommt es, daß ſie an ſeichten Stellen ſich heftig brechen, dort aber, wo eine große Tiefe Statt findet, keine beſondere Störung der Ruhe hervorbringen. Es iſt hier noch die Bemerkung hinzuzufügen, daß, wenn die Heftigkeit des Bore oder des Mascarets von irgend einer Rückwirkung des Grundes herrührte, die kleinen Fahrzeuge an ſeichten Stellen und über großen Tiefen in gleicher Gefahr wären, denn, im Falle durch die Rückwirkung des ſeichtliegenden Grundes die Wellen erhoben und gefährlich geworden ſind, ſo iſt auch die Beſchaffenheit und die Kraft der Wellenſchwingung völlig verändert (87); die dadurch erregten Wellen pflanzen ſich, über die Seichte hinweg, auch dahin fort, wo eine bedeutende Tiefe Statt findet, und die gefährliche Wellenſchwingung verbreitet ſich auf eine große Ausdehnung; doch durch die Grundwellen wird die Oberfläche des Waſſers zwar bewegt, aber keineswegs die Stärke und Beſchaffenheit der obern Schwingungen verändert. Indem die Grundwellen über eine Seichte fortrücken, wölbt ſich die Oberfläche nach ihnen; gelangen ſie hingegen wieder in eine größere Tiefe, ſo zerſtreuen ſie ſich in der Waſſermaſſe, und dieſe ſetzt ihre natürliche Undulation ungeſtört fort.

167. Schließlich ſcheinet mir eine Thatſache keinen Zweifel zuzulaſſen, daß der Mascaret, der Pororoca und der Bore von den Grundwellen herrühren, und dieſe iſt: daß nämlich dieſe Erſcheinung ſich nicht in ſolchen Flüſſen zeigt, die an ihrer Mündung eine hinlänglich hohe Anhäufung von Sand oder ſolche Felſenbänke haben, wodurch die Grundwellen gänzlich zurückgehalten werden, endlich auch nicht in ſolchen, die bis weit ins Meer hinein ſehr tief ſind. Deßwegen gibt es in dem Adour, der an der Mündung durch eine Sandanhäufung, wo die Grundwellen ſich unaufhörlich brechen, verlegt

iſt, keinen Mascaret, eben ſo wenig in der Charente, die viel zu tief iſt, als daß die Grundwellen eine merkliche Wirkung auf die Oberfläche haben könnten. Dem zu Folge gelangen die Wellen zwar in dieſe Flüſſe, aber ohne Grundwellen unter ſich mitzuführen.

Siebentes Kapitel.

Von den Anhägerungen.

168. Man begreift leicht, wie Schlamm, Sand und ſelbſt Steine, von den Flüſſen fortgeſchleppt, in die See gelangen, und dort entweder von den Ufer-Strömungen hin und her getrieben, oder von den Abgründen des Meeresbodens verſchlungen werden. Was aber mit jenen Trümmern geſchieht, die das Meer ohne Unterlaß von ſeinen ſteilen Ufern ablöſet, und wie es geſchieht, daß Sand, welcher nicht von den anliegenden Küſten herkommt, ſich oft in ungeheuren Mengen an denſelben ſammelt, und Dünen, das iſt: weite Sand-Geſtade, bildet, und die Häfen anfüllt, dieß iſt nicht ſo leicht erklärlich.

169. Bis jetzt hat man dieſe Anſandungen dem Flutſtrome und den Uferſtrömungen zugeſchrieben. Der Zweck dieſes Kapitels iſt, erſichtlich zu machen, daß die Strömungen an den Anhägerungen weniger Antheil haben, als man glaubte, und daß die Haupturſache derſelben die Grundwellen ſeien.

1. Anhägerungen an den Geſtaden, Dünen.

170. Die an den Fuß eines ſteilen Strandes anſchlagenden Grundwellen unterwaſchen und zerſtören ihn von unten,

bis er endlich einſtürzt. Durch die wechſelweiſe Bewegung der Grundwellen und des vom Strande zurücklaufenden Waſſers (103) werden die Trümmer hin und her geworfen, ſie ſtoßen an einander, und ihre Härte mag ſein, welche ſie immer wolle, ſo reiben und runden ſie ſich ab. Nach Beſchaffenheit des Felſens entſtehen hierdurch Geſchiebe, Sand oder Schlamm. Wenn der Flutſtrom mit der Linie des angegriffenen Ufers parallel vorwärts ſchreitet, ſo kann er wohl die Trümmer in den Hintergrund der Buchten treiben, läuft er jedoch ſenkrecht gegen das Ufer, ſo bleibt das Material an der Stelle, wo es entſtand. Die Ebbe allein kann die fein zermalmten Maſſen mit ſich nehmen und den Uferſtrömungen zuführen, während ſie jedoch zu gleicher Zeit, den von den Wellen gegen das Ufer gebrachten Sand und anderes Material auch zurückrollen macht, ſo daß alſo die Wirkung des Flutſtromes zum größten Theile durch jene des Ebbeſtromes aufgehoben wird, und mit Ausnahme deſſen, was die trüben Hochwäſſer am Ufer abſetzen, die durch den Flutſtrom herbeigeführten Elemente der Anhägerung nur ſehr unbedeutend ſein können. Nichts deſto weniger ſieht man ausgedehnte Anſandungen auch an jenen Meeren, welche, wie das mittelländiſche Meer, keine merkbare Flut haben. Was das Verſchwinden der von den Geſtaden herrührenden Trümmer anlangt, ſo kommt dieß vorzüglich daher, daß die, bei den unaufhörlichen Zermalmungen abfallenden, ſehr feinen Theilchen ſich im Waſſer ſchwebend erhalten, und indem ſie es trüben, von dieſem mit der Ebbe in flutende Meere geführt werden.

171. In Betreff der Strömungen und Gegenſtrömungen am Ufer, deren Hauptrichtung ſtets beiläufig parallel mit dem Lande iſt, kann man nicht zweifeln, daß ſie die zerkleinerten Körper, welche ſie an den vorſpringenden Punkten der Küſte antreffen, oder welche ihnen durch die Flüſſe oder auch durch die Ebbe zugeführt werden, mit ſich reißen, und daß dieſe

Strömungen auf ihrem Wege, je nachdem ſich die Körper längere oder kürzere Zeit ſchwebend erhalten, verſchiedene Ablagerungen bilden. Alle Autoren, welche über die Anſandungen geſchrieben haben *), glauben unter Anderem, daß die Uferſtrömungen auch den Schlamm und Sand vom Grunde des Meeres gegen das Ufer brächten, und dieß eben kann nicht zugegeben werden; denn, obgleich die Geſchwindigkeit des Waſſers an beiden Seiten der Strömung ſehr gering iſt, und der in ſchiefer Richtung gegen das Ufer getriebene Sand dort liegen bleiben kann, ſo gibt es doch in den Strömungen, ſie mögen ſich wenden, wie ſie wollen, keine auf ihre Richtung perpendikuläre Kraft, wodurch der Sand immer nach einer und derſelben Seite, und ſelbſt auf große Entfernungen, dahin geführt werden könnte, wo ihre Wirkung gänzlich aufgehört hat.

172. Dieſelben Schriftſteller geben zu, daß das an den Ufern abgeſetzte Material nur dann empor gehoben werde, wenn die Wogen Kraft genug haben, um ihre Wirkung bis zum Grunde des Meeres fortzupflanzen. Aber die bloße Wellenſchwingung bringt keine wirklich fortrückende Bewegung hervor (6), ſie kann daher die Elemente der Anhägerung, von welchen das Waſſer getrübt iſt, nicht an das Ufer bringen, und die Ablagerungen würden, nachdem die Wellen beruhigt ſind, nur auf dem Zuge der Uferſtrömungen Statt finden. Die Anhägerungen, deren ſchnelles Anwachſen man ſich ſonſt nicht erklären könnte, müſſen daher durch andere Kräfte an das Ufer gebracht werden. Dieſe Kräfte ſind die Grundwellen, welche während des Sturmes auf der hohen See in bedeutenden Tiefen gebildet werden, den Meeresgrund, über welchen

---

*) Der Pater Caſtelli, der Aſtronom Gemini Montanari und nach ihnen die Ingenieurs Groignard, Mercadier, Frémond de la Merveillère, der General Andreoſſy ꝛc.

ſie hinweggehen, aufwühlen, und ſich mit dem davon losge-riſſenen, oder auch mit jenem Materiale beladen, das durch die Wellenbewegung empor gehoben wurde, und im Waſſer ſchwebend nunmehr mitgeriſſen wird.

173. Wir wiſſen bereits, daß die Strömungen keines-wegs durch die Bewegung der Grundwellen geſtört werden (157), ſie geben bloß der Geſtalt dieſer letztern, ſo wie über-haupt der Wellenform nach, und weil die Grundwellen, ſo wie die anderen, nothwendig erſt am Ufer auslaufen, ſo durch-bricht der Sand mit den Grundwellen, welche ihn enthalten und an das Ufer führen, ohne Anſtand den Zug der Strömun-gen; eine ſehr merkwürdige Thatſache, welche vollkommenen Aufſchluß über die Anhägerungen gibt, und eine richtige Theo-rie hiervon darbietet.

174. Der auf dieſe Art von den Grundwellen mitgeführte Sand bleibt am Strande liegen, weil das Waſſer ihn fallen läßt, ſobald die auslaufenden Grundwellen ihre Dicke und Geſchwindigkeit verlieren, und vom Strande wieder zurück-kehren. Die Verſickerung des letzten Theiles einer zurückkeh-renden Welle läßt den Sand gleichſam trocken liegen, neue anlaufende Grundwellen ſtoßen ihn höher hinauf, und auf dieſe Art werden die feinſten und leichteſten Theilchen am wei-teſten fortgetrieben, und an den am meiſten erhöhten Punkten des Strandes angehäuft. Sobald ſie durch die Sonne ganz trocken geworden ſind, nimmt ſie der Wind mit und läßt ſie anderswo wieder fallen, wodurch ſich die Dünen bilden. Die Grundwellen geben alſo das Material zu den Dünen, welche gewöhnlich längs dem Strande ſich vorfinden, her, und ſie ſind es auch, welche aus dem Meere den Sand zu den ungeheuren afrikaniſchen Wüſten und zu anderen Ebenen an verſchiedenen Punkten der Erdoberfläche brachten.

175. Herr E. Jomard hat über die Bildung der An-ſandungen des Nil-Delta's Beobachtungen angeſtellt, welche

mit dem übereinſtimmen, was hier aus der Theorie der Grundwellen, in Beziehung auf die Anhägerungen, abgeleitet wurde *). Die Bewohner der Sandküſten der Gascogne, welche weder die Entſtehungsweiſe noch die Natur der Grundwellen kennen, ſagen: das vom Grunde des Meeres aufſteigende Waſſer bringe ihnen den Sand ihrer Dünen **); ſie ſehen wirklich unter den ſchäumend anrollenden und ſich am Strande brechenden Wellen jene Waſſermaſſe hervorbrechen, welche den Sand enthält (103).

176. Man bemerkt zur Zeit der Ebbe an einem, aus feinem, ſelbſt etwas ſchlammigen Sande beſtehenden Strande ganz kleine, an ihren Begrenzungen etwas empor gehobene Abſätze, welche die verſchiedenen Wellenſchwingungen bezeichnen. Sie werden gebildet, indem die kleinen Grundwellen von den ſchwachen und letzten Wellen herbeigeführt, nach Maßgabe, wie das Meer ſich zurückzieht, auch immer weniger weit auslaufen.

---

*) »Oft,« ſagt Herr Jomard, »brachte ich eine ganze Stunde hin, um die Bildung der Sandufer in ihrer Entſtehung und in ihrem Fortgange zu beobachten. Ich ſah, wie ſich die Wellen brachen, und bei ihrem Vorwärtsſchreiten am Strande eine dünne, kaum merkbare Linie eines feinen Sandes abſetzten; die nachfolgenden Wellen, den Sand eben ſo ablagernd, wie die vorhergehenden, ſtießen die früher niedergelegte Sandlinie ſtets etwas vorwärts, bis ſie aus dem Bereich des Waſſers gelangte und, von der brennenden Sonnenhitze bald abgetrocknet, dem Angriff des Windes Preis gegeben war. Die weniger leichten Theile des in die Luft empor gehobenen Sandes flogen nicht weit, aber einer beſtändigen Bewegung ausgeſetzt, rieben ſie ſich an einander ab und wurden nach und nach eben ſo fein, wie die andern Theilchen.« (Description de l'Egypte, Antiquités d'Antacopolis; t. 2. p. 22. note 4.)

**) Voyage des Landes par M. de Saint-Amans.

177. Wenn das Material aus ſo großen Theilchen beſteht, daß ſie ſich nicht im Waſſer ſchwebend erhalten können, ſo wird es von den Grundwellen am Boden des Meeres fortgerollt (128), und es bildet ſich am Ufer eine Ablagerung, welche vom Winde nicht fortgetrieben werden kann. Dieſe Ablagerungen ſind gewöhnlich ohne Unterbrechungen mit dem Ufer parallel, wie Dämme erhöht und abgerundet, oft auch mit Abſätzen oder Stufen verſehen, wovon die unterſten ſtets zuletzt, und in Folge einer geringeren Erregung des Meeres, oder durch weniger hohe Fluten, oder von weniger heftigen Grundwellen gebildet worden ſind.

178. Wenn die Grundwellen gegen ſteile Küſten anlaufen, ſo bilden ſie, nachdem ſie ſich an der Wand erhoben haben und wieder herabgefallen ſind (115), im Grunde des Meeres Strömungen gegen die offene See hin, wodurch die Geſchiebe und der Sand zurückgeſtoßen und zuweilen, nach Beſchaffenheit der gewöhnlichen Grundwellen, in großen Entfernungen niedergelegt werden. Auf dieſe Art ſind manche, mit den Ufern parallele Bänke und ſeichte Gründe gebildet worden, deren Entſtehung man, wenigſtens was die aus Sand anlangt, der Wirkung einer Ruhe zuſchrieb, die durch die Begegnung der Wellen von der offenen See her, und der vom Ufer zurückgeworfenen hervorgebracht worden ſein mochte. Dieſe Ruhe ſollte das Niederſinken des im Waſſer ſchwebenden Sandes begünſtiget haben *). Doch iſt dieſe Bildungsweiſe eben ſo wenig bei den Sandbänken möglich, als bei jenen, welche aus Geſchieben zuſammengeſetzt ſind, die doch niemals ſchwebend in den Wellen ſich erhalten.

179. Herr v. Buffon ſagt in ſeiner Naturgeſchichte **), daß, je ſteiler die Küſten ſind, deſto tiefer das Meer an ihrem

---

*) **Frémond de la Merveillère, Memoire sur les ensablemens.**

) **Tom. 1.

Fuße iſt; und Herr v. Ceſſart *) fügt dieſem noch hinzu, daß die Wirkung des Meeres auf den Grund proportional ſei der Kraft der Wellen und der Höhe, bis zu welcher ſie ſich an der Oberfläche des Felſens erheben. Um dieſe Erklärung zu vervollſtändigen, muß man für den Fall, daß die Tiefe an dem ſteilen Ufer durch eine Auswaſchung entſtanden iſt, als Urſache derſelben nicht die Wellen der Oberfläche, ſondern die Grundwellen angeben, denn ſie ſind es, welche ſich an der Wand emporheben und im Herabfallen auf den Grund wirken.

180. Es läßt ſich nicht zweifeln, daß es auch die Grundwellen ſind, welche jene Geſchiebe-Anhäufungen in den Häfen, namentlich am Canal la Manche verurſachen, zu deren Hinwegſchaffung man, um die Benützbarkeit des Hafens nicht einzuſchränken, mit großen Unkoſten Spülſchleuſen erbaut. Herr v. Ceſſart **) meldet, daß jährlich bei viertauſend Kubikklafter (29 bis 30,000 Metres) Geſchiebe in den Hafen von Dieppe und eben ſo viel in jenen von Tréport geworfen werden. Dieſe Geſchiebe können eben ſo wenig im Waſſer ſchwebend von den Wellen, als durch den Flutſtrom in ſolcher Menge herbeigeführt werden, um ſich ſo ſchnell anzuhäufen, als man es ſieht; man muß hier die ſtarke und ununterbrochene Wirkung der Grundwellen erkennen, wodurch die runden und deßwegen leicht beweglichen Geſchiebe zuſammen geführt werden. Man begreift jetzt, wie während der Stürme ungeheure Anhäufungen an ſolchen Punkten der Küſte, oder in jenen Häfen ſich bilden, welche in der Richtung der Wellen, oder im Durchſchnittspunkte ihrer Bewegung liegen. Man begreift ferner auch, wie ſolche außerhalb den Häfen liegende Anhäufungen (von den Franzoſen pouilliers genannt) durch ſpätere Stürme weggenommen und auf andere Punkte

*) Tome 2. pag. 15.

**) Tome 1. pages 22 et 282.

verſetzt werden können; denn es iſt hinreichend, daß die zuletzt wirkenden Grundwellen in einer Richtung vorwärts ſchreiten, die von der verſchieden iſt, bei welcher die Geſchiebe angehäuft wurden, um dieſe allmählig mitzureißen, und an einer anderen Stelle wieder niederzulegen. Dieß ereignet ſich oft, weil die Richtung der Wellen, folglich auch jene der Grundwellen, ſehr veränderlich iſt, indem ſie von der Lage des Punktes abhängt, wo die Wellen erregt werden. Die von mir gegebenen Erklärungen über die Bildung der Geſchiebe (170) und über ihre Fortbewegung durch die Grundwellen, berichtigen einige Punkte der von Lamblardie aufgeſtellten Theorie, und verbreiten ein neues Licht über die Bewegung der Geſchiebe, welche den Gegenſtand einer Abhandlung dieſes gelehrten Ingenieurs ausmacht *).

181. Durch, einander entgegengehende, Grundwellen können Bänke, ja ſelbſt Inſeln gebildet werden, indem ſich die Wellen wechſelſeitig aufhalten (139) und einen Moment der Ruhe herbeiführen, während deſſen die von ihrem Waſſer mitgeführten Sandtheile und anderes Material ſich ablagern. Meerengen werden auf dieſe Weiſe durch das Niederſinken des Materials ausgefüllt, und Inſeln mit dem feſten Lande verbunden. Malte-Brun**) erwähnt ſolcher an den Küſten von Dänemark vorgegangenen Veränderungen, und ſicherlich haben dieſe keine andere Grundurſache.

182. Es kommt mir ſehr wahrſcheinlich vor, daß die Kanger, eine Art von Dämmen in Liefland***), welche

---

*) Mémoire sur les côtes de la Haute Normandie; in 4to. Le Havre 1789.

**) Précis de géographie universelle. T. II, p. 454.

***) Börger, Verſuch über die Alterthümer Liefland's p. 78; De Bray, Essai historique, Tom. I, p. 77. Malte-Brun, Précis de Géographie universelle, T. VI, p. 560.

man für Monumente der alten Bewohner dieſes Landes hält, und deren Entſtehungsart nicht enträthſelt werden konnte, in einer ſehr fernen Zeit, wo die Wäſſer der nordiſchen Meere ſich zwiſchen den Hügeln ausbreiteten, und die jetzt moraſtigen Ländereien bedeckten, durch Grundwellen gebildet worden ſeien. Man kann in der That bemerken, daß da, wo ſich ein Kanger befindet, einſt eine Enge geweſen ſei, in welcher ſich die von entgegengeſetzten Punkten herkommenden Wellen begegneten, und gerade dort, wo der Kanger iſt, ſich wechſelſeitig aufhielten. Die Grundwellen mochten hier den mitgeführten Sand und die vor ſich hergeſtoßenen Felſentrümmer liegen laſſen, und bei ihrem Auslaufen (deferlement) die ſeichte, einer Furt ähnliche Stelle allmälig über den Waſſerſpiegel erhöhen. Durch die Bildung des Kangers wurde die Meeresenge in zwei Buchten getheilt, denen die Grundwellen fort und fort Schlamm und Sand zuführten, und ſie endlich in Moräſte verwandelten. Die Beſchreibungen, welche Reiſende von den Kangers gegeben haben, ſind in keinem Punkte mit dieſer Erklärung im Widerſpruche, die topographiſchen Details aber machen ſie ſogar ſehr annehmbar. Weil übrigens uns nichts den Zweck, zu welchem dieſe Anſchüttungen gemacht worden ſein konnten, andeutet, ſo muß man mit Malte-Brun daran zweifeln, daß ſie ein Menſchenwerk ſeien; meine Theorie der Grundwellen berechtiget mich ſogar dazu, ſie für ein natürliches Denkmal der Wirkung der Grundwellen, und für einen Beweis des Vorhandenſeins der Nordmeere in ſehr alter Zeit zu halten.

2. Von der Verſandung der Häfen.

183. Ungeachtet der Geſchicklichkeit und des Scharfſinnes des berühmten Marine-Ingenieur-Generals Groig-

nard*), ungeachtet der gelehrten Unterſuchungen von Mercadier, Ingenieur in der Provinz Languedoc**), und jener des Genie-Hauptmanns Frémond de la Merveillère***), iſt die Theorie der Sandanhägerungen ungefähr auf demſelben Punkte der Unvollkommenheit ſtehen geblieben, wo ſie der Aſtronom G. Montanari ließ; in der Art, daß man heute zu Tage noch über die Mittel, den Anſandungen abzuhelfen, ungewiß iſt.

184. Die Theorie des G. Montanari beruht auf der Beobachtung, daß immer an der Ausmündung eines Fluſſes und unterhalb der Ufer- oder Gegenſtrömungen eine Art von Stillſtand oder todtes Waſſer ſich befinde†), und daß der Sand ſich dort anhäufe; man hat hiernach geſchloſſen, daß es die Ruhe des Waſſers iſt, welche die Ablagerung hervorbringt, und daß der, von den Strömungen mitgeführte, und nahe genug an dem ſtehenden Waſſer vorbeigehende, Sand niederfällt, um ſich dort anzuſammeln. Man hat endlich in der Art und Weiſe der Anhägerungen an den Mündungen der Flüſſe, auch das Prinzip der Hafen-Verſandungen zu finden geglaubt. Mercadier und Frémond halten dafür, daß die Urſache einer jeden Anhägerung im Allgemeinen in dem Mangel der Bewegung des Waſſers zu finden ſei,

*) Mémoire sur les ensablemens, consigné au procés-verbal des États de Languedoc; pour l'année 1778.

**) Recherches sur les ensablemens. Mémoire qui a remporté le prix proposé en 1786 et 1787 par la Société royale des sciences de Montpellier.

***) Mémoire sur les ensablemens des ports de mer, qui a partagé le prix de 1787 décerné par la même Academie.

†) Dieſe Waſſer werden als ſtille ſtehend betrachtet, weil ſie ſich nur im Kreiſe herum drehen, welche Bewegung durch die Wirkung der Grundwellen auf die Strömung des Fluſſes veranlaßt wird.

und Mercadier hat insbeſondere auf gelehrtem Wege unterſucht, wie man das Stillſtehen des Waſſers an der Ausmündung eines Hafens oder eines Fluſſes verhindern könne, und er betrachtet die Löſung dieſes Problems als das Mittel für immerwährende Zeiten, den Anſandungen und Anhägerungen zu begegnen*).

185. Das Vorhandenſein einer Sandablagerung an der Mündung eines Fluſſes, einer Lagune oder eines Hafens iſt eine konſtante Erſcheinung; aber die Urſache, wodurch ſie hervorgebracht wird, iſt ganz und gar nicht jene, welche Montanari, Mercadier und andere Schriftſteller dafür angeben.

Wenn auch eine Uferſtrömung die Convexität ihrer bogenförmigen Bewegung gegen jene Bucht, wo die Mündung ſich befindet, zukehrt, ſo iſt doch ihre Geſchwindigkeit nicht groß genug, um, in Folge der Centrifugalkraft, den Sand von der Bahn der Strömung abzulenken (171), dieſe Kraft iſt vielmehr dem Laufe des Fluſſes, welcher ſeine Convexität gegen die See wendet, gerade entgegengeſetzt; ferner hat das ſtehende Waſſer ſicher keine Art von Anziehungskraft für den entfernter davon ſich herumbewegenden Sand. Man muß daher, um zu erklären, wie der Sand in das ſtehende Waſſer der Mündungen eines Fluſſes oder einer Lagune gelange, zu anderen Urſachen, wie ſie gleich dargelegt werden ſollen, ſeine Zuflucht nehmen.

186. Die Grundwellen gehen mit dem in ihnen enthaltenen und vom Meeresgrunde emporgetriebenen Sande, wie wir es bereits bemerkt haben (173), unter den Strömungen hinweg. Diejenigen davon, welche bereits die Ufer und die Flußſtrömungen durchſchnitten haben und zum ruhi-

*) P. 52 des bereits angeführten Memoires.

gen Waſſer angelangt ſind, werden am Strande durch die kreisförmige Bewegung dieſes ſtillen Waſſers und durch ſeine Undulation von ihrer Richtung abgelenkt, und beſchreiben eine Spirale, die zum Mittelpunkte führt, wo ſie den Sand ablagern*). Dieſer Sand aber bildet jene Anhäufungen, welche die Einbuchtung einer Flußſtrömung verlegen, während die Grundwellen dort, wo keine Flußmündung iſt, parallel zur Uferlinie anlaufen, und daſelbſt gleichförmig ihren Sand niederlegen.

187. Die von Mercadier gegebene Löſung der Aufgabe, Verſandungen zu verhindern, beſteht in einer beſonderen Kombination der, durch Werke der Kunſt geleiteten Ufer- und Flußſtrömungen, um das Stilleſtehen des Waſſers an den Mündungen zu beſeitigen. Frémond de la Merveillère gibt einen für die Lokalität des Hafens von Cette berechneten Vorſchlag, um durch Spülungen und hinlängliche Strömungen den Sand zurück zu ſtoßen; er wollte auch, daß man zu demſelben Zwecke ſchwimmende, aus einer Art

*) Im Allgemeinen führt das im Kreiſe ſich drehende Waſſer jeden Körper, den es ergreift, zum Mittelpunkte. Man kann ſich hievon die Ueberzeugung verſchaffen, wenn man in was immer für ein Gefäß etwas Sand oder anderes Materiale bringt, und dem Waſſer, nahe an den Wänden, eine ſchnelle Kreisbewegung gibt, damit die Wirkung der, die natürlichen Wirbel verurſachenden Strömungen nachgeahmt werde. Dieſe Erſcheinung kommt daher, weil die Geſchwindigkeit des Waſſers vom Umfange zum Mittelpunkte viel ſchneller abnimmt, als die Länge der Halbmeſſer. Hieraus folgt, daß ein, vom Wirbel **abd** bewegter Körper **P**, Fig. 36, auf der im Centrum endigenden Spiralbahn **P Q** fortgetrieben wird. — Je größer die Geſchwindigkeit des Waſſers im Umfange des Wirbels iſt, deſto nachtheiligere Seichten werden in der Regel gebildet.

von Pontons zuſammengeſetzte Dämme anwenden möchte. Die Theorie der Grundwellen zeigt die Unwirkſamkeit dieſes Mittels. Endlich glaubt **Mercadier**, daß man, um einen Hafen von Verſandungen zu befreien, nach Verhältniß zu der Uferſtrömung auf eine Weite von 3 bis 4 Lieues, einen beträchtlicheren Fluß in den Hafen leiten müſſe, und fügt hinzu, daß in Ermangelung eines Fluſſes, lange, vor dem Hafen liegende Dämme zur Abhaltung einer Anhägerung ſehr nützlich ſein würden.

188. **Mercadier** gründete dieſe Anſicht auf den Bericht **Montanari's**, daß die Häfen von Venedig, als die **Piave** nur 9 Miglien entfernt war, weniger Sand erhielten, als ſpäter, wo dieſer Fluß um 28 Miglien weiter verlegt wurde. Aber die **Piave** verminderte nur die Zuführung des Sandes, ſie konnte die Häfen nicht gänzlich davor bewahren. Was die vorgelegten Dämme betrifft, ſo wie der Lido maggiore, ſo gibt **Mercadier** ſelbſt zu, daß ſie erſt dann recht zweckmäßig ſein würden, wenn ſie ganz mit Sand überlegt ſind.

189. Im Allgemeinen läßt ſich von allen bis jetzt vorgeſchlagenen Mitteln kein Erfolg erwarten, weil ſie nicht auf die Erkenntniß der wahren Urſache der Hafenverſandungen gegründet ſind.

Dieſe, den Ingenieurs bis jetzt unbekannte Urſache iſt immer die Wirkung der Grundwellen. Sie durchſchneiden, beladen mit dem am Meeresgrunde, nicht aber, oder höchſtens im Vorbeigehen, mit dem im ruhigen Waſſer der Mündungen emporgehobenen Sande, jede Strömung, gehen ſelbſt unter der eines Fluſſes hinweg (157) und dringen in die Häfen ein, ſo wie ſie zu jedem Punkte am Strande gelangen. Das ſchnelle Anwachſen der Verſandungen kommt daher, weil die Grundwellen, die Flutſtrömung ſei, welche ſie wolle, fort und fort in **einer** Richtung wirken, und ſich unaufhör-

lich wie die Wellen folgen. Das Meer mag ſteigen oder fallen, auch wenn es weder Flut, noch Ebbe gibt, man ſieht immer die Grundwellen ſich am Ufer brechen.

190. Das Mittel alſo, die Anſandung eines Hafens zu verhindern, beſteht darin, den mit Sand beladenen Grundwellen das Eindringen dahin zu verwehren, und es handelt ſich nicht darum, durch eine Kombination von Strömungen, oder durch Zuleitung von Flüſſen das ſtillſtehende Waſſer an den Mündungen der Flüſſe und Häfen wegzuſchaffen. Die Aufgabe iſt durch die Anlage eines zwiſchen zwei Dämmen*) enthaltenen Kanals, den man nicht blos bis zur Linie, welche die beiden vorſpringenden Punkte einer Bucht verbindet, wie Groignard glaubt, auch nicht nach Mercadier bis zur Uferſtrömung, ſondern bis über die erſte ſteile Wand, wo ſich zur Zeit der ſtärkeren Stürme die Grundwellen bilden (92), verlängern müßte. Die erſt in dem Kanale entſtehenden Grundwellen fänden keinen Sand darin, und könnten daher auch keinen in den Hafen bringen; das Wenige, was eine trübe Flut darin niederlegen könnte, ſtieße eine Spülung leicht wieder zurück, und die Wirkung wäre unfehlbar, weil die Grundurſache der Verſandung völlig aufgehoben wäre.

191. Dieſe Dämme müßten gleich lang ſein, d. h. ihre Köpfe gleichweit in die See vortreten. Es wäre ganz und gar nicht zu befürchten, daß der außen, durch dieſelbe Urſache, wie an den Mündungen der Flüſſe ſich anhäufende Sand (184) zwiſchen den Dammköpfen eindringen könnte, denn er müßte in jene Tiefe hinabſtürzen, welche ſich vor der, die Grundwellen veranlaſſenden Wand befindet, und würde jedenfalls durch die Uferſtrömung fortgetrieben.

192. Die außerordentliche Länge, welche möglicher

---

*) Dieſe Dämme müßten von mit Mörtel ausgeführtem Mauerwerk ſein, damit der Sand nicht durchdringen kann.

Weiſe ſolche Dämme erhalten müßten, iſt in Beziehung auf die Auslagen das einzige Hinderniß, welches ſich der allgemeinen Anwendung dieſes ſicheren Mittels, die Häfen vor der Anfüllung mit Sand und Geſchieben zu bewahren, entgegenſtellen könnte. Wenn man ſich dadurch gezwungen ſieht, die vollſtändige Löſung der Aufgabe aufzugeben, und nur ſolche Mittel anzuwenden, welche das ſchnelle Anwachſen der Verſandungen blos verzögern, ſo gibt die von mir dargelegte Theorie in Zukunft doch wenigſtens den Grad des Zutrauens an, welches man einem ſolchen Verfahren ſchenken kann, und wird uns ſicherer leiten, als die bis jetzt angenommenen Grundſätze.

193. Dieſe Theorie der Anſandungen findet bei einer, die Rhede von Cherbourg betreffenden, Frage eine nicht unintereſſante Anwendung. Viele Perſonen äußerten ſeit langer Zeit die Beſorgniß, daß die Rhede ſchnell verſandet werden würde, ſobald jener Damm, der in ihrem Inneren Ruhe herzuſtellen beſtimmt iſt, über das höchſte Waſſer erhoben ſein würde. Der Grund dieſer Beſorgniß ſoll darin liegen, daß jetzt der, durch das weſtliche Fahrwaſſer und über den zum beſtehenden Damme gehörigen, noch unvollendeten Theil desſelben, Fig. 62, eindringende Flutſtrom, bevor er wieder durch die öſtlichen Oeffnungen austritt, ſich in die Bucht von Sainte Anne, in den Hafen und auf den Strand von Mielles wirft, und ſo den dahin gebrachten Sand gleichſam wegkehrt, während nach Vollendung des Dammes, der, auf die Breite der Einfahrt beſchränkte, Flutſtrom von Weſten her, nicht mehr in derſelben Richtung eindringen, eben ſo wenig bis ins Innere der Buchten gelangen, und höchſtens von einer Oeffnung zur andern ein Fahrwaſſer bilden dürfte, ſo, daß der übrige Theil der Rhede und die Eingänge zu den Häfen der Gefahr ausgeſetzt wären, zu verſanden.

Die Theorie der Grundwellen macht jede Beſorgniß in dieſer Beziehung verſchwinden. In der That würde der Flutſtrom nach Herſtellung des Dammes nicht mehr Sand, als jetzt mitführen, ſeine Geſchwindigkeit aber in den Paſſagen ſich vergrößern. Weil der Damm die von der See herkommenden Grundwellen aufhalten wird, und im Innern, wo völlige Ruhe herrſchen ſoll, ſich keine ſolchen bilden können, ſo wird dem Flutſtrome während ſeiner Bewegung durch die Rhede der mitgeführte Sand, um ans Ufer getragen zu werden, nicht entriſſen, und er verläßt den Hafen mit ihm. Die, ebenfalls während eines Sturmes, durch die Weſtöffnung eindringenden und gegen die Bucht von Sainte Anne laufenden Grundwellen ziehen allemal in der Richtung ab weit genug an dem Eingange des Militärhafens vorüber, ſind dort ſchon ſehr geſchwächt und ſetzen die geringe Menge des mitgeführten Sandes entweder an der Küſte von Mielles oder an dem kleinen Strande zwiſchen le Galet und dem Handelskanale ab, ſo, daß der Militärhafen gar nicht beeinträchtigt würde.

Man hat, um die diesfälligen Beſorgniſſe zu rechtfertigen, das Entſtehen der Küſte von Mielles, welche eine wirkliche Sanddüne iſt, angeführt. Aber es fehlen uns über den Zuwachs dieſer Anſandungen die gehörigen Beobachtungen, und es iſt wahrſcheinlich, daß er ſeit der im Jahre 1784 hergeſtellten Steinſchüttung ſehr gering war und ſicher nur von den auf der Rhede, ſelbſt während der Stürme, gebildeten Grundwellen herrührte. Sobald in Folge der, an dem Damme noch auszuführenden Arbeiten die Ruhe auf der Rhede hergeſtellt ſein wird; ſo gibt es daſelbſt dann auch keine Grundwellen, und daher auch keine Beſorgniß wegen Vergrößerung der Anſandungen; wenigſtens dürften nur die, durch die Paſſagen eindringenden, Grundwellen einigen Sand zuführen, der aber von den Strömungen wieder fortgenommen

wird, wodurch alſo weder für die Häfen noch für die Rhede etwas zu befürchten bleibt.

Was die Bucht von Sainte Anne anlangt, ſo iſt dieſe vom Meere angegriffen, und die von Cherbourg nach Querqueville führende Straße bereits unterbrochen. Die Grundwellen, welche durch die weite Oeffnung im Weſten eindringen, und ihre Wirkung gegen das Innere der Bucht concentriren, ſind die Urſachen dieſer Zerſtörung. Sie wird nicht eher aufhören, bis an der Stelle des ſteilen Ufers ſich zum Auslaufen der Wellen (103) ein hinlänglich ausgedehnter Strand gebildet haben wird. Das neue Ufer dürfte durch den abzulagernden Sand nur ſehr langſam wieder erhöht werden. — Der Damm von Querqueville, obgleich zu andern Zwecken beſtimmt, wäre in Bezug auf die Anhägerungen dadurch nützlich, daß er die weſtliche Oeffnung verenget, auf ſeine ganze Länge die Grundwellen zurückhält, und hierdurch die Menge des Sandes, welche bei ſtürmiſchem Meere in die Bucht von Sainte Anne getragen werden könnte, verringert.

3. Von den Ablagerungen an den Mündungen der Flüſſe.

194. Sie ſind nichts Anderes als Sandbänke, welche den Ausfluß eines Gewäſſers verlegen. Die Urſache ihrer Bildung ſchrieb man dem zu, daß nahe am Meere, ein in einem horizontalen Rinnſale fließendes Gewäſſer ſich an der Mündung zu einer breiten Fläche ausdehnet und an Tiefe verliert, wodurch bei der Begegnung mit dem Flutſtrome, oder ſelbſt blos mit der Maſſe des Meerwaſſers Veranlaſſung zu einer Ruhe gegeben wird, in welcher ſich ſowohl der durch

den Fluß als auch der vom Meere herbeigeführte Sand ab⸗ lagert*).

195. Es iſt leicht wahrzunehmen, daß dieſe Erklärung nicht genüge; denn die durch die Begegnung zweier Strö⸗ mungen vorausgeſetzte Ruhe kann nicht wohl beſtehen. Im mittelländiſchen Meere ſetzt ſich der Flutſtrom niemals jenem des Fluſſes entgegen, am Ocean iſt abwechſelnd bald die eine, bald die andere Strömung ſtärker, jene des Fluſſes iſt es durch den größten Theil der Zeit. Wenn die angegebene Ruhe wirklich von der gleichen Stärke zweier Strömungen, oder auch nur von dem Widerſtande des Meeres gegen die Strö⸗ mung des Fluſſes herrührte, ſo müßten alle Flüſſe ſolche An⸗ häufungen zeigen, und dieſe wären gewiß weiter im Meere, als wir ſie zu ſehen pflegen, weil die Strömung eines Fluſ⸗ ſes ſich ſtets ſehr weit in das Meer hinein erſtreckt.

196. Die Wirkung der Grundwellen iſt die wahre Urſa⸗ che auch dieſes Phänomens. Jene Grundwellen, welche die Uferſtrömung durchſchnitten haben, und in gerader Richtung gegen die Mündung eines Fluſſes ſchreiten, werden dort, je nachdem ſich der Meeresgrund mit dem Flußbette vereinigt, entweder eindringen oder angehalten. Iſt das Flußbett gleich⸗ ſam nur eine Fortſetzung des Meeresgrundes, oder geht dieſer in jenes mittelſt einer glatten, ſanft geneigten oder einer au⸗ ßerordentlich wenig gebogenen Fläche über, ſo dringen die Grundwellen in den Fluß ein. Bei ſtürmiſchem Meere brin⸗ gen ſie Sand dahin, und bilden ſehr flache Bänke, weil ge⸗ nug Breite vorhanden iſt, und Alles, was höher läge, als

*) Mercadier, Recherches sur les ensablemens; Bossut, traité élémentaire d'Hydrodynamique, Tome II, p. 280 et Hydrodynamique Tome II, chap. XIII. Belidor, architecture hydraulique. Deuxième partie. Tome 2, livre 3, chap. 8, pag. 2.

ein gewiſſes Niveau bei ſtiller See, von der Strömung des Fluſſes wieder zurück geſtoßen wird. Während der hohen Fluten, wo die Grundwellen dann ſelbſt auf den ſanft abgeböſchten Sandbänken nichts finden, was ſich ihrem Laufe entgegenſetzt, bringen ſie in dem Fluſſe, mehr oder weniger weit hinauf, den Mascaret (152) hervor. Auf dieſe Art ſind Sandbänke an den Mündungen der Gironde entſtanden, und weiter aufwärts in der Dordogne zeigt ſich der Mascaret. — Sobald ſich aber in der Mündung am Grunde eine gähe Wand oder eine etwas ſteile Böſchung vorfindet, ſo erheben ſich die Grundwellen darüber ſo, daß man es deutlich an der Oberfläche bemerkt, und können ihren Weg unter dem Waſſer des Fluſſes nicht mehr fortſetzen, denn ihre Bewegung hört auf mit der Wellenſchwingung in Uebereinſtimmung zu ſein. Die entgegen kommende Flußſtrömung zerſtreut ſie, ſie laſſen während des Momentes der Ruhe, wo ihr Waſſer mit jenem des Fluſſes ſich miſcht, den mitgebrachten Sand fallen, die folgenden Grundwellen werfen ihn wieder über die ſteile Wand, und es wird die, einem langen Hügel ähnliche, Anhäufung gebildet, welche bei ſtürmiſcher See bald zunimmt, weil die Grundwellen dann Material im Ueberfluſſe bringen, und ſich wie an einem Strande brechen. Eine ſolche Anhäufung wächſt ſchnell in die Höhe, ſie kann ſelbſt höher werden, als das Niveau des hohen Meeres, wenn nämlich die Flußſtrömung und die Ebbeſtrömung nicht Kraft genug haben, einen Theil davon wieder in das Meer zurückzuführen.

Die durch die Wirkung der Grundwellen erhaltene, nicht unbedeutend ſteile, Böſchung dieſer Anhäufung auf der Seeſeite bringt dieſelbe Wirkung hervor, wie eine jede andere Steile einer Sandbank oder eines ſeichten Grundes, man ſieht nämlich an der Oberfläche des Waſſers die Wellen ſich brechen.

197. Viele Flüſſe haben ſolche Anhäufungen, welche den Eingang in dieſelben ſchwierig und gefährlich machen; eine der merkwürdigſten, welche zugleich die Ingenieurs viel beſchäftigte, iſt jene im Adour. Sie ſcheint vorzüglich durch die Sandtrümmer der ſpaniſchen und portugieſiſchen Küſten gebildet worden zu ſein, welche, wie Brémontier beobachtete, von den Uferſtrömungen *) herbei geführt und von den Grundwellen an die Küſten der Landes geworfen wurden, wo ſie, noch mehr zerkleinert, das Material zu den Dünen bilden (174). Ein Theil dieſes Sandes ſetzt ſich an der Mündung des Adour feſt, wo die Höhe der Anhäufung zwiſchen dem Niveau des hohen und des niederen Meeres wechſelt; das Uebrige wird von der Strömung des Fluſſes und der Ebbe bei ſtillem Meere wieder zurückgeſtoßen, indem die ſchwachen Grundwellen nicht ſo viel Sand bringen können, als die Strömungen in die See zurückführen. Man bemerkt wirklich, daß das Volumen der Anhäufung, wenn die See lange ruhig war, abnimmt, und daß es während der Stürme ſchnell wieder wächſt.

198. Die Sandanhäufung an der Mündung des Adour, oder die von Bayonne, wird von den Seeleuten gefürchtet. Ein Fahrzeug, mit welchem man kühner Weiſe bei unruhiger See, oder ohne ganz ſicher zu ſein, es durch das Fahrwaſſer zu führen, einläuft, iſt in großer Gefahr, entweder zu ſtran-

*) Es iſt wohl möglich, daß der Sand aus jenen Gegenden des Oceans, welche den Weſtküſten der Halbinſel entſprechen, durch die Wirkung der Uferſtrömungen an Frankreichs Küſten gelange, aber auch ſehr wahrſcheinlich, daß ſich dieſer Wirkung jene der Grundwellen beigeſellet. Während des Sturmes mögen die Grundwellen unter den großen Wogen an Portugals Küſten parallel vorbei ſchreiten, den Grund des Meeres gleichſam auskehren, und ſo den Sand in den gasconiſchen Meerbuſen bringen, wo er ſich mit den Wellen ausbreitet.

den, oder von den furchtbaren Grundwellen, die mit einer außerordentlichen Wuth emporſteigen und ſich brechen, umgeſchlagen zu werden. Man iſt oft im Fluſſe, wie auf der Rhede, gezwungen, ſehr lange Zeit das Zuſammentreffen günſtiger Umſtände abzuwarten, um ohne Gefahr die Mündung paſſiren zu können.

Wenn es bei hoher See Wellen gibt, ſo kann man die Lage und Geſtalt der Anhäufung, durch die von den Grundwellen erhobenen Wellen an der Oberfläche, die beim Darübergehen kurz werden, zuweilen ſelbſt eine ſtehende Schwingung (Klappenſchwingung) zeigen, recht gut erkennen. Während eines Sturmes brechen ſich die Wellen ſchäumend und ungeſtüm und bezeichnen auf dieſe Art die Anhäufung; zur Zeit der Windſtille jedoch, wo es keine Wellen, daher auch keine merklichen Grundwellen gibt, iſt bei hoher See der Ort der Gefahr gar nicht wahrnehmbar.

Die Einfahrt iſt ſchmal und hat niemals Tiefe genug für den Durchgang einer Fregatte. Sie wird durch die Kraft der Strömung des Adour, der bei kleinem Meere keinen anderen Ausfluß hat, offen gehalten, aber ſie iſt nicht ſtets an derſelben Stelle, weil die Grundwellen, ſo wie jene an der Oberfläche, mit den Winden ihre Richtung wechſeln, den Sand von einer Seite zur andern hin bewegen, und auf dieſe Art auch die Lage der Anhäufung ſich verändert. Aus dieſer Urſache iſt es unerläßlich, daß die Schiffe beim Aus- und Einfahren durch Lootſen und Signale geführt werden.

199. Schon in ſehr alter Zeit mündete der Adour, ſo wie heut zu Tage, ganz gerade in den Ocean; aber das Anwachſen einer, wahrſcheinlich über das höchſte Niveau des Meeres emporſteigenden, Sandanhäufung zwang den Fluß, ſeine Mündung immer mehr und mehr nordwärts zu verlegen, ſo daß der Adour durch mehrere Jahrhunderte zwiſchen den alten Dünen und einer, mit dem Ufer parallelen, 15,000 Klafter

(30,000 Metres) langen Zunge, in eine Art von Thal floß, welches jetzt zum Theil ſumpfig und auf den Landkarten mit dem Namen: »das alte Flußbett des Adour« bezeichnet iſt.

200. Im Jahre 1579 hatte der Fluß ſeine Mündung noch an jenem Punkte, den man jetzt die alte Mündung (vieux boucaut) nennt, wo ſie durch einige, von der Flußſtrömung nicht zu überwindende, Hinderniſſe feſt gehalten worden zu ſein ſcheint. Der Architekt und Ingenieur Louis de Foix eröffnete damals den Ausfluß in der urſprünglichen Richtung, ſchloß das alte Flußbett und ſtellte auf dieſe Art die ehemalige Verbindung des Adour mit dem Ocean her, die man aber nichts deſtoweniger neue Mündung (nouveau boucaut) nannte. Der Lauf des Fluſſes wurde hierdurch verkürzt; es iſt übrigens auch wahrſcheinlich, daß ſich zu jener Zeit an der alten Mündung eine Sandanhäufung gebildet hatte, deren Spuren durch die Uferſtrömung und in Folge des, ſeit 250 Jahren an das Ufer getriebenen, Sandes gänzlich verſchwunden ſind.

201. Louis de Foix hoffte, zum Vortheile der Schifffahrt, das Hinderniß der Sandanhäufung wegzuſchaffen; es iſt anzunehmen, daß dieſer Erfolg mehr der Zweck ſeiner Arbeit war als, wie man meinte, die Verkürzung des Laufes von einem Fluſſe, der damals einen bedeutenden Landſtrich fruchtbar und geſund machte. Er glaubte ohne Zweifel, daß ein gerader und ſchnellerer Lauf den Sand zurücktreiben werde. — Dieſe Unternehmung gewann ihm großes Lob, aber der Zweck wurde verfehlt; es bildete ſich bald eine neue Anhäufung, und ohne die ſchönen Dämme, zwiſchen welchen geſchickte Ingenieurs *) im Jahre 1729 den Fluß einſchloſſen, und ihm dadurch mehr Kraft gaben, hätte die Menge des Sandes den Ausfluß ganz verlegt und den Adour gezwungen, ſich wieder

---

*) Herr von Touros war zu dieſer Zeit Fortifikations-Director.

ein mit dem Ufer paralleles und von neuen Dünen begrenztes Bette zu bilden.

202. Um den Adour von der Anhäufung an der Mündung zu befreien, hat man vorgeſchlagen, das Waſſer des Teiches von Tarnos in ſein Bette zu leiten, Spülſchleuſen anzulegen und die Dämme zu verlängern.

203. Die Menge des Waſſers, welche man ſich hätte von Tarnos verſchaffen können, wäre wahrſcheinlich unzureichend und ohne die erforderliche Geſchwindigkeit geweſen, um die enorme Maſſe der Sandanhäufung gänzlich wegzuſchaffen, oder auch nur eine gute Ausfahrt zu erhalten; ſie möchte ſelbſt während der Ebbe nicht ausgiebig genug ſein, um die Wirkung der Grundwellen beim Anſtoße an die Steile in der Mündung zu vernichten (196).

204. Die außerordentlich koſtſpielig herzuſtellenden Spülſchleuſen wären entweder zu weit entfernt von dem Punkt, auf welchen ſie wirken ſollen, oder mit zu wenig Waſſer verſehen geweſen, um mit Erfolg wirken zu können.

205. Die Zuleitung der Wäſſer des Canals der Landes*) in den Adour brächte auch keine beſſere Wirkung hervor, weil die Lage der Ufer, wo ſich die Grundwellen in einem ungeheuren Meerbuſen concentriren, eine ſo außerordentliche Kraft dieſer letzteren veranlaßt, daß man durch ein ſo ſchwaches Mittel, wie das ablaufende Waſſer eines Schifffahrt-Kanales Etwas auszurichten nicht hoffen darf.

206. In Beziehung auf die Dämme, hat man ihre Verlängerung als vortheilhaft erkannt, aber deren zweckmäßige Länge nicht feſtgeſetzt, denn man wußte das Princip nicht,

---

*) Dieſer Kanal ſoll ſich unmittelbar unterhalb Bordeaux in die Garonne, und oberhalb Bayonne in den Adour ausmünden. Seine Länge würde ungefähr gleich ſein der $2\frac{1}{2}$ fachen geradlinigen Entfernung ſeiner beiden Endpunkte.

nach welchem dieß beſtimmt werden ſollte. Obgleich durch die Verlängerung blos eines Dammes ſchon Sandanhäufungen weggeſchafft worden *) ſind, ſo ſcheint mir doch dießfalls beim Adour der Erfolg ſehr zweifelhaft, wenn man nicht beide Dämme, ſo daß ſie gleichſam einen Kanal herſtellen, gleichmäßig, und nach dem, was ich oben auseinander geſetzt habe (190), mit ihren Köpfen bis über jene ſteile Wand im Meeresbette vorrücken läßt, wo die Grundwellen bei ſtarken Stürmen ſich bilden. Uebrigens iſt bei dem geringen Abfalle des Meeresbettes der Entſtehungsort der Grundwellen ſo weit vom Ufer entfernt, daß die zu verwendenden großen Koſten, die Ausführung dieſer Arbeit, wie nützlich und des Erfolges ſicher ſie übrigens auch ſein mag, höchſt wahrſcheinlich nicht geſtatten würden.

207. Ein viel einfacheres, weniger koſtſpieliges, und des Erfolges eben ſo ſicheres Mittel, in Beziehung auf den ſpeciellen Fall beim Adour, wäre die Zurückführung des Fluſſes in das von Louis de Foix geſchloſſene Bett, aber nur bis zum Cap Breton auf eine Länge von beiläufig 14 Tauſend Metres, d. i. weniger als die Hälfte des alten Laufes. Nahe an dieſem Cap müßte eine Mündung eröffnet werden, welche man durch zwei parallele ſehr kurze Dämme auslaufen ließe bis an jene von den Seeleuten dieſer Gegend wohlgekannte

---

*) Die Sandanhäufung an der Mündung der Dee in Schottland iſt, nach dem Berichte des Herrn Charles Dupin (Voyage dans la Grande-Brétagne; force commerciale), dadurch hinweggeſchafft worden, daß man den linkſeitigen Molo um beiläufig 300 Metres verlängerte. Es wäre aber auch noch zu wiſſen nöthig, ob nicht in einiger Zeit eine neue Verlängerung des Dammes erforderlich ſein wird, was um ſo ſicherer vorauszuſetzen wäre, wenn die Anlage der Verlängerung vielleicht nicht mit den Grundſätzen der von mir aufgeſtellten Theorie über die Verſandung übereinſtimmt.

und von ihnen Gouffre genannte Meeresſtelle, wo die Wellen, ſelbſt während der heftigſten Stürme, auch am Ufer ſich nicht brechen, weil es bei der hier 20 bis 30 Faden betragenden Waſſertiefe niemals Grundwellen gibt. Es wäre dem gemäß auch keine Sandanhäufung an der Mündung zu befürchten.

Der Meeresgrund des Gouffre iſt ſchlammig und ſandig, daher ein ausgezeichneter Ankergrund; ſeine Richtung, beinahe ſenkrecht auf das Ufer, iſt Oſtnordoſt und er ſcheint durch ein zufälliges Eindringen des Meeres, ohne mit der Hauptrichtung der Küſte übereinzuſtimmen, gebildet worden zu ſein. Der Abfall des Grundes gegen die See hin, iſt außerordentlich ſanft, wodurch bei heftigen Stürmen die großen Wellen, deren Bewegung den Boden erreicht, bei ihrem Fortrücken allmählig geſchwächt werden (89). Aus derſelben Urſache kann der Gouffre als Rhede niemals eine gefährliche Aufregung zeigen, und es können daſelbſt weder kurze, noch ſtehende Wellen (Klappenwellen) Statt finden.

208. Wenn man die Ausmündung des Adour zum Gouffre hin verlegte, ſo könnten die Schiffe jeder Zeit und bei jeder Meereshöhe einfahren. Dieſe Mündung würde nicht allein ein vorzüglicher und bedeutender Handelshafen, ſondern auch ein Zufluchtsort werden, an dem es im Innern des gasconiſchen Meerbuſens fehlt, wo man nur in der Bucht von St. Jean de Luz, den nur für kleine Schiffe geeigneten Hafen von Socoa findet.

Die Verlegung der Adourmündung zum Gouffre, wäre in Beziehung auf den Canal der Landes, der ſich im Hafen ſelbſt mit dem Fluß vereinigen würde, nur Vortheil bringend, weil man einen großen Theil ſeiner Länge erſparen dürfte.

Man ſieht hieraus, daß, wenn Louis de Foix, anſtatt den Adour in ſein altes Bett zu führen, wo er ſich jetzt befindet, die Mündung zum Gouffre eröffnet hätte,

ſein Unternehmen vollkommen gelungen wäre; er hätte die ungeheure Auslage für die Dämme, mit welchen er einen Theil des Fluſſes, ohne den vorgeſetzten Zweck zu erreichen, einſchloß, und alle auf jede andere Art verurſachten Koſten erſpart.

Man ſieht aber auch zugleich, daß dieſes Mittel, dem Adour einen freien Ausfluß in den Ocean zu geben, das einzig wirkſame ſei, und daß die Auslagen, um die jetzige Mündung von ihrer Sandanhäufung zu befreien, entweder unerſchwinglich oder erfolglos ſein würden.

209. Der Aufwand, um die Mündung des Adour zum Gouffre zu verlegen, wäre nicht bedeutend, weil das alte Bett nicht angefüllt iſt, und es ſich nur darum handeln würde, einigen Sand, welchen der Wind von den nahen Dünen hinein geworfen hat, auszuräumen, was in Zukunft nach Bepflanzung der Ufer mit Strandfichten nicht mehr nothwendig ſein dürfte.

210. Es wäre leicht zu beweiſen, daß die Umgegend durch die Zurückführung des Adour in einen Theil ſeines alten Flußbettes viel gewinnen würde; ebenſo die Stadt Bayonne, denn ihr Handel nähme von dem Augenblicke an, wo der Hafen, dem man ſich ſonſt nur mit Furcht nähern konnte, von der gefährlichen Sandanhäufung befreit ſein würde, einen beſonderen Aufſchwung an. Doch hier iſt nicht der Ort, dieſes zu erörtern, und es mag genügen, angedeutet zu haben, wie die Theorie der Grundwellen zur Löſung des gewiß nicht unintereſſanten Problemes in Beziehung auf die Sandanhäufung des Adour benutzt werden kann.

211. Die Mehrzahl der Flüſſe in Portugal und an der Weſtküſte von Afrika haben an der Mündung Sandanhäufungen (barres); der Orinoco, die Flüſſe von Tong-King, der Cambodja in China*), der Fluß in der

*) Eigentlich in Hinter-Indien oder Cochinchina.

Bai von St. Auguſtin im Canal von Mozambique, und eine Menge anderer haben die ihrigen. Alle dieſe Anhäufungen ſind durch die Grundwellen herbeigeführt, oder von ihnen feſtgehalten worden, denn ohne ſie würden die Ablagerungen ſo weit ins Meer hinausgeſtoßen worden ſein, als die Strömungen der Flüſſe ſich erſtrecken. Das Nil-Delta, jene des Miſſiſippi, des Ganges, der Schelde, der Maas, des Rheines, und die Camargue des Rhone ſind urſprünglich nichts, als ſolche von den Grundwellen gebildete Sandanhäufungen geweſen.

212. Die aus Sand beſtehenden Landzungen, welche den Etang von Thau vom Meeresbuſen von Lyon trennen, die kuriſche und friſche Nehrung *), welche das kuriſche und friſche Haff vom baltiſchen Meere ſondern, der Sandrücken Hela in demſelben Meere, die Landzunge in Nieder-Egypten, auf welcher die Stadt Alexandrien ſtehet, endlich jene, welche die Seen Bourlos und Menzaléh vom mittelländiſchen Meere ſcheiden, ſind auf gleiche Weiſe durch die Grundwellen gebildet. Die Sandbank, welche das weite Becken der Bitter-Seen, gegenüber von Hadjeroth, vom rothen Meere trennet, ſcheinet einſt auch eine ſeichte, von zur Zeit der Stürme mit Sand beladen ans Ufer laufenden Grundwellen gebildete Stelle geweſen zu ſein. Die Seichte bei

*) Man glaubt allgemein dort zu Lande, daß die friſche Nehrung im 12. Jahrhunderte während eines ſehr heftigen Sturmes durch den vom Meere ausgeworfenen Sand gebildet worden ſei, und daß ſie ſeither gleichfalls durch Stürme ſich vergrößere. Herr Catteau-Calleville beſtreitet dieſe Meinung (Tableau de la mer baltique 1812, tom. 1, p. 59), aber da ſie mit der Theorie der Grundwellen in Uebereinſtimmung ſtehet, und der Name dieſer Erdzunge ihr Entſtehen ſpäter als jenes der kuriſchen Nehrung andeutet, ſo muß man die Ueberlieferung wohl als richtig anſehen.

Suez *) iſt ſicher auf gleiche Art gebildet; die zurücklaufenden Wellen halten ſie jedoch noch entfernt von dem innerſten Theile des Meerbuſens. Vielleicht entſteht hier einſt auch noch ein Strandſee.

213. Auch andere Flüſſe veränderten den Ort ihrer Ausmündung, wie der Adour, und ſind wegen Anhäufungen (barres) des durch die Grundwellen herbeigeführten oder von ihnen feſtgehaltenen Sandes gezwungen, eine Strecke parallel mit den Ufern zu fließen. Der Senegal hat jetzt ſeine Mündung um 25 Lieues ſüdlicher als früher, und läuft auf dieſer ganzen Länge zwiſchen dem alten Strande, und einer, ganz ſichtbar durch die Grundwellen gebildeten, Zunge aus Sand parallel mit der Küſte.

An der Küſte von Portugal iſt die Ausmündung des ſchönen Fluſſes Vouga durch den ſich ſeit 1550 anhäufenden Sand um 7 Lieues ſüdlich vom Hafen von Aveiro verlegt worden. Dem Beiſpiele Louis de Foix folgend, haben im Jahre 1802 der Brigadier Oudinot und der Obriſtlieutenant Carvalho, mit Begünſtigung des königlichen Miniſters Grafen von Linares, die Sandanhäufung gegenüber von Aveiro durchſtochen, und eine Art Molo hergeſtellt, welcher das alte Bett abſchließt und den Fluß zugleich zwingt, ſich der neuen Mündung zuzuwenden. Dieſe im Jahre 1808 beendigten Arbeiten ſind dermalen noch von großem Nutzen für den Hafen **); aber da die

*) Description de l'Égypte tome I. Antiquités. Note sur le séjour des Hébreux par M. Dubois Aymé.

**) Routier des côtes de Portugal, par M. M. Francini, Major au corps royal du génie; traduit du portugais, par G. Durban. Annales maritimes et coloniales, 1822.

In dieſem Wegweiſer wird eines Memoires vom Desembargador J. B. Andrade über die Anpflanzung der Dünen mit Seeföhren (Strandfichten, pinus maritima) erwähnt, aber Brémontier iſt der eigentliche Erfinder dieſes Mittels, die

ganze Anordnung nicht auf die Theorie der in ähnlichen Fällen wirkenden Grundwellen baſirt iſt, und dabei nichts ihren unaufhörlichen und kräftigen Einfluß aufhebt, ſo ſteht zu befürchten, daß die Mündung wieder verſandet und der Fluß ſüdwärts, zwiſchen dem alten und einem neuen natürlichen Sanddamme, parallel mit dem Ufer zu fließen gezwungen werden wird.

214. Die Theorie der Grundwellen und jene der Anſandungen werfen auch ein neues Licht auf manche wichtige geologiſche Thatſache. So ſcheinen mir jene, von Alters her bekannten aus Sand und abgerundeten Kieſeln beſtehenden, Hochebenen, deren Formation man Erdumwälzungen und großen Eisſtrömungen zuſchrieb, oder ſie als Ablagerungen ehemaliger Flüſſe anſah, nichts Anderes als Anſandungen aus dem Meere zu ſein. Man möchte allenfalls begreifen, wie Flüſſe die Trümmer der verwitternden oder ſonſt zerkleinerten Felſen von den Gebirgen herab mit ſich reißen, aber wie könnten ſie ſo gleichförmig, und auf ſo ausgebreiteten Räumen, als die in Rede ſtehenden Ebenen ſind, ihr Geſchiebe niederlegen? Sollte man übrigens nicht glauben, daß der Weg von den Gebirgen bis auf die Ebenen im Allgemeinen viel zu kurz wäre, als daß die oft ſehr harten Steinſtücke Zeit genug gehabt hätten, ſich völlig abrunden zu können? Es mag ſein, daß Flüſſe über jene Kieſelanhäufungen floßen, und indem ſie über ihre Ufer traten, Schlamm, Sand und Erde darauf niederlegten; aber zur eigentlichen Bildung jener Anhäufungen glaube ich,

---

Dünen feſtzuhalten. Sein Name iſt an den Sandküſten der Gascogne, wegen der dort von ihm vor mehr als 40 Jahren gemachten Anpflanzungen billiger Weiſe ein Gegenſtand der Verehrung. Die Auseinanderſetzung ſeines Memoires kann man im 2ten Bande Nr. 5 des Journal de l'École polytechnique, an VI. (1798) nachſehen.

haben ſie nur dadurch beigetragen, daß ſie das rohe Material dem Meere zubrachten. Nur die Grundwellen konnten die Trümmer der Gebirge ſo gleichmäßig niederlegen, und durch eine lang währende Bewegung auf dem Strande, wohin ſie dieſelben brachten, in Geſchiebe und Sand verwandeln; nur ſie vermochten es, Stellen, wo ſonſt das Meer war, ganz auszufüllen, ja ſelbſt zu erhöhen.

215. Der größte Theil des Sandes, des Schotters und der Kieſel, welchen die Flüſſe jetzt mit ſich führen, iſt ſicher nicht durch ſie abgerundet worden; die Gewäſſer reißen ſie, ſo wie ſie ſind, von alten Anhägerungen hinweg, und bringen ſie dem Meere zu. Die alten Anhäufungen von Geſchieben, Kieſeln und Sand ſind alſo, ſo wie jene, die ſich jetzt auf dieſelbe Weiſe bilden, nichts Anderes als Anhägerungen des Meeres, und unbeſtreitbare Beweiſe, daß die See einſt viel höher war, und lange Zeit weit über ihrem jetzigen Niveau ſtand.

216. Sollte die Theorie der Grundwellen auch nicht im Stande ſein, die Frage in Beziehung auf die einzeln ſtehenden großen Geſchiebe *) (blocs erratiques) genügender, als es bisher möglich war, zu beantworten? Könnten dieſe Blöcke in manchen Fällen nicht Geſchiebe aus jener Epoche der Erde ſein, wo Alles gigantiſch war, und wo das Meer faſt die ganze Erdoberfläche bedeckte? — Nachdem ſie vom Gebirge fallend herabgekommen waren, mochten ſie, von den Grundwellen hin und her getrieben, abgerundet, und endlich, ſo wie die Blöcke der Steinſchüttungen im Hafen von Becquet, oder am Damme von St. Jean de Luz (135), oder auch ſo wie jene Steine, welche man täglich bei Cherbourg **) und Cette ***) an den Fuß der Dämme hinwirft, wieder auf ein

*) Dictionnaire des sciences naturelles, par les professeurs du jardin du Roi. I. 54. p. 58.

**) Siehe das Kapitel IX.

***) Blöcke eines harten Marmorſteines von ſolcher Größe, daß

hohe Stelle geſtoßen worden ſein. Die Breite der Thäler oder der Meere, die großen Entfernungen konnten in Beziehung auf dieſe Bewegung den Steinen kein Hinderniß ſein; ihre kürbisartige Geſtalt, ihre Lagerung und die beobachtete beſondere Gruppirung ſcheinen ſogar als günſtige Umſtände für die angegebene Meinung zu ſprechen. Eben ſo wenig ließe ſich das bedeutende Volumen (bei einigen auf 1500 Cubik-Metres angegeben) als ein Widerſpruch anſehen, denn man muß bemerken, daß Grundwellen von 10 bis 12fach größerer Höhe als jene, welche die oberwähnten Steinſchüttungen aus einander geworfen haben, gewiß im Stande ſind, die größten erratiſchen Blöcke zu bewegen, und ſie auf große Entfernungen von dem Orte ihrer Entſtehung fortzuſtoßen. Ferner waren die Grundwellen zur Zeit, als die Blöcke bewegt worden ſein mochten, ſicherlich auch, dem Körper nach, viel bedeutender, und wer möchte überhaupt ihre Größe und ihre Kraft ermeſſen, wenn ſie ſolchen Wogen entſprechen, die auf einem damals faſt grenzenloſen Ozean durch ungeheure Stürme erreget werden mußten?

4. Schlammige Anhägerungen.

217. Die Anſchlammungen ſind auch das Reſultat der Wirkung der Grundwellen. Wenn zur Zeit des heftig bewegten Meeres die Wellenſchwingung den Grund erreicht, ſo werden Schlammtheile von demſelben emporgehoben, miſchen ſich in Folge der Bahnbewegung mit dem Waſſer (25), werden ſelbſt bis an die Oberfläche gebracht, und die Flut trägt das trübe Waſſer an den Strand und in die Häfen. Während die

---

mehrere Ochſen kaum im Stande ſind, ſie vom Steinbruche zu den Dämmen zu ziehen, werden ſehr bald in Folge der Bewegung der Wellen in fauſtgroße Geſchiebe verwandelt. T. 18. p. 92. des eben angeführten Dictionnaires.

Flut ſteigt oder fällt, und vorzüglich in dem Momente, wo die See ruhig zu ſtehen ſcheint, ſinken die Schlammtheile nieder und erhöhen allmählig den Grund. Wenn dieſe Urſache allein wirkſam wäre, ſo müßten die Ablagerungen dieſer Art gleichmäßig verbreitet ſein und nur ſehr langſam anwachſen; denn die Ebbeſtrömung nimmt immer einen Theil von dem wieder weg, was die Flutſtrömung gebracht hat; die Dicke dieſer ſchlammigen Ablagerung müßte am Ufer der hohen See geringer ſein, als an jenem der niedrigen, weil die Tiefe des Waſſers gegen das Ufer hin abnimmt, und das Meer den höheren Theil des Strandes durch kürzere Zeit bedeckt, als den niedrigeren: indeſſen findet doch das Gegentheil Statt, und man ſieht die aus Schlamm beſtehenden Anhägerungen an den höhern Theilen des Strandes ſchneller ſich erhöhen, als anderswo, und findet, daß ſie daſelbſt viel feſter und ſteiler abgeböſcht ſind; es muß daher außer der einfachen Prezipitation bei der Bildung der Anſchlammungen noch etwas Anderes mitwirken, und dieß ſind die Grundwellen. Nicht genug, daß ſie ihr Waſſer reichlich mit Schlammtheilen beſchweren, und dieſe an das Ufer bringen, ſie ſtoßen auch die bereits niedergeſunkenen Theile wie eine, mittelſt eines Rechens oder einer Walze, fortgeſchobene Teigmaſſe vor ſich hin, und drücken ſie an die Böſchungen und ſelbſt an die geringſten Hinderniſſe, denen ſie begegnen, an. Auf flachen Abdachungen zwingen ſie den Schlamm, immer höher hinaufzurücken, ſo daß derlei Anhägerungen, ſo wie manche Sand- und Schotterbänke, über das Niveau des höchſten Meeres emporragen, und mit der Zeit horizontale, bedeutend hohe Strecken an einem Strande bilden, den das Meer vor wenigen Jahrhunderten bedeckte.

218. Ein Theil von Nieder-Poitou iſt auf dieſe Art das Werk der Grundwellen; einige in dieſe ungeheueren Verlandungen eingeſchloſſene, höher als ſie gelegene und ihrer natür-

lichen Beſchaffenheit nach ganz verſchiedene, Stellen, haben ihren ehemaligen Namen beibehalten, wornach kein Zweifel übrig bleibt, daß ſie einſt vom Kontinente getrennt und mit Waſſer umgeben waren. So gibt es an der Küſte des Departements der Vendée, mitten auf dem feſten Lande, die Inſeln Elle, Vic, Taugon, Chaillé, St. Michel en l'Herne, Champagnié u. ſ. w.

219. Die Menſchen warten jedoch nicht immer ab, bis derlei Anhägerungen ſich ſo erhöhet haben, daß man ſie in Beſitz nehmen könnte; ſobald ſie ſich über das niedrigſte Meer erheben, werden ſie mit Dämmen umgeben, damit das hohe Meer ſie nicht bedecke, und werden ausgetrocknet und bebauet.

Die Kunſt, ſich ſolcher Anhägerungen zu bemächtigen, hat das Anwachſen der Oberfläche manches Feſtlandes ſehr beſchleunigt und es mag in Europa der Flächeninhalt der ſo gewonnenen Ländereien jenen übertreffen, welcher in gleicher Zeit durch das Meer an den Küſten weggeſpült worden iſt. Der dem Meere abgewonnene Beſitz von Holland iſt das bedeutendſte und merkwürdigſte Reſultat dieſer Art von Induſtrie und der Wirkſamkeit der Grundwellen.

220. Die Dämme, deren eigentliche Beſtimmung es iſt, die vom Meere gebildeten Anhägerungen demſelben zu entziehen, veranlaſſen an ihren Vorderſeiten zugleich eine viel ſchnellere Erhöhung der Anſchlammungen, und beſchleunigen die Gewinnung einer neuen Strecke. Sie ſtellen nämlich dem von den Grundwellen herbeigeführten Schlamme ein Hinderniß entgegen, an welchem er angehalten wird, ſo daß die Schlammtheilchen, welche, wenn die Eindeichung nicht vorhanden wäre, faſt gleichförmig die ganze Anhägerung allmählig erhöhet hätten, ſich jetzt nur am Fuße des Dammes ſammeln, und den Strand immer mehr und mehr vorrücken machen, ſo daß eine neue Eindämmung und eine frühere Bebauung der neuer-

dings gebildeten Anhägerung möglich wird *). Nichts deſto weniger müſſen ſich aber in dem Maße, als man gegen die See vorrückt, die Anhägerungen immer langſamer bilden, und endlich dort ganz aufhören, wo die Grundwellen keinen Schlamm mehr führen.

221. Die Dämme, mit welchen man die dem Meere abgewonnenen und ausgetrockneten Strecken umgibt, dürfen nicht unmittelbar in die Linie des Ufers geſetzt werden, weil die Verlandung dort noch nicht Konſiſtenz genug hat, um ſie zu tragen, und weil es nöthig iſt, den zur Austrocknung erforderlichen Kanälen und Rigoles einen ſchnellen Abfluß zum kleinſten Meeresſtande zu geben. Eine fernere Beobachtung, deren Wichtigkeit aber nicht ſtets einzuleuchten ſcheint, iſt die, daß es nicht räthlich ſei, die Dämme der Wirkung der Wellen zu ſehr auszuſetzen. Dieſe Vorſicht, welche uns die Erfahrung auf Unkoſten der Unternehmer von Austrocknungen gelehrt hat, wird durch die Theorie der Grundwellen beſtätiget. Das, was man für die Wirkung der Wellen hält, iſt die Folge der um ſo heftiger und andauernder wirkenden Grundwellen, je näher der Fuß der Dämme oder einer andern Böſchung am Ufer liegt; denn die Grundwellen, ſo wie jene über ihnen, mit welchen ſie gehen, nehmen an der Geſchwindigkeit des ſteigenden Meeres Theil, und ſind daher in einem Momente der Flutzeit viel bedeutender, als wenn das Meer gleichſam ſtill zu ſtehen ſcheint. Man entzieht demnach die Dämme, indem man ſie weiter zurück legt, dem Maximum der Geſchwindigkeit

*) Man darf dieſe Erhöhung der Anhägerungen nicht mit jenen verwechſeln, welche dadurch erzielt werden, daß man trübes Waſſer in die eingedeichten Räume läßt, um dort den Schlamm niederſinken zu machen. Das klare Waſſer läuft dann zur Zeit des niedrigen Meeres wieder ab, und bei hoher See wird eine neue, mit Elementchen zur Anhägerung verſehene Waſſermenge in die Eindeichung zugelaſſen.

der Grundwellen, weil die Flutſtrömung des ſteigenden Meeres ſie erſt dann erreicht, wenn ſie ſich bereits geſchwächt hat. Die zum Damme gelangenden Grundwellen ſind dann weniger heftig, ja ſelbſt durch den Widerſtand auf einer langen Strecke des ſchlammigen Strandes oft gänzlich unwirkſam.

222. Dieſelben Grundſätze müſſen als Richtſchnur dienen, wenn es ſich darum handelt, Anhägerungen fortan zu erhalten, welche entweder zu wachſen aufgehört haben, oder die das Meer wieder zu zerſtören trachtet, ſei es, weil die Grundwellen kein Material mehr bringen, oder weil die Strömungen ſie angreifen, und ihnen mehr entreißen, als die Wellen wieder zu erſetzen vermögen. In dieſen beiden Fällen ſetzt man dem Meere Schutz- und Sicherheitsdämme, welche aber doch immer von den Grundwellen angegriffen werden, entgegen. Die erſten bilden um die Anhägerungen, welche man zu beſchützen hat, eine kräftige Umfaſſung; die Sicherheitsdämme haben nur zum Zwecke, das Ausbreiten der hohen See über bebaute Ländereien zu verhindern. Es iſt angemeſſen, ſie auf einige Entfernung von den Schutzdeichen anzulegen, damit die Grundwellen ſie nicht eher erreichen, als bis ſie durch den Stoß an dieſe, und durch ihren Lauf auf dem zwiſchen den Dämmen gelaſſenen erhöhten Terrain, wie auf einem Strande, geſchwächt worden ſind. Durch dieſe Anordnung erreicht man noch einen weiteren Vortheil, nämlich den, daß bei einer allenfallſigen Zerſtörung des Schutzdammes dieſe nicht auch unmittelbar den Sicherheitsdamm trifft.

223. Eine, wahrſcheinlich von Montanari herrührende Beobachtung gibt uns ein ſehr gutes Mittel an die Hand, nicht allein die vom Meere angegriffenen Anhägerungen zu vertheidigen, ſondern auch eine früher beſtandene wieder herzuſtellen. Er bemerkte nämlich, daß ein auf den Strand perpendikulär geſetzter Damm ſich von beiden Seiten verſandete. Man ſchrieb dieſe Wirkung dem Uferſtrome zu, welcher an der

Stelle, wo die Dämme ſind, unwirkſam iſt, und zwei Dreiecke eines ſtehenden Waſſers veranlaßt, wohin der von der Strömung mitgeführte Sand ſich ablagert. Die wahre Urſache dieſer beiderſeitigen Verſandung ſind aber die Grundwellen, welche, da ſie nicht ſtets ſenkrecht gegen das Ufer laufen, bald gegen eine, bald gegen die andere Seite des Dammes, Sand und anderes Material anhäufen. Die Strömungen können dieſes nicht wegnehmen, und die Wirbel im ſtehenden Waſſer treiben es ins Innere des von den Dämmen abgeſchloſſenen Raumes, ſo wie ich es (186) angedeutet habe. Man hat ſolche Dämme oder Sporne (épi) mit gutem Erfolge bei Schutzdämmen angewendet, indem man ſie ſo nahe aneinander ſetzte, daß die Strömungen in ihren Zwiſchenräumen nicht zu wirken vermochten.

224. Neulich erſt wurde von dem Ingenieur des Straßen- und Brückenbaues, Herrn Plantier, eine Anlage dieſer Art an der Spitze Devin der Inſel Noirmoutiers, nach dem Projekte des Ingenieurs en chef, Herrn Dan de la Vantrie, mit vielem Erfolg ausgeführt, wobei ſich dieſer als ein Mann von Genie die gleichartigen Werke zum Muſter nahm, welche auf der Inſel Walchern die Spitze von Weſt Capell beſchützen.

225. Bis jetzt verſah man alle Dämme und Sporne (épi), ſie mochten, nach Beſchaffenheit der Localität, aus Stein oder aus Faſchinenwerk erbauet ſein, nach außen hin mit weit auslaufenden Böſchungen. Die letztgenannte Bauart iſt vorzüglich in den Niederlanden gebräuchlich, und gibt den Dämmen eine große Solidität, welche wohl der innigen Verbindung aller einzelnen Theile, wie ſie hier erzielt wird, zuzuſchreiben iſt. Die oben genannten Ingenieurs haben beim Baue des Dammes von Devin mit der Faſchinade einen Verſuch gemacht, und für die Weſtküſten Frankreichs, wo dieſe Art Arbeit nur wenig bekannt, und früher vorzüglich ſehr ſchlecht ausgeübt wurde, dadurch etwas ſehr Nützliches gethan. Nichts deſto

weniger haben ſie ſelbſt bemerkt, daß dieſe in den kalten und feuchten Ländern ſo zweckmäßige Bauweiſe an ſolchen Küſten, wo die Sonnenhitze das Faſchinenholz ſehr ſchnell austrocknet, weniger dauerhaft ſei, und daß man daher unter ſolchen Umſtänden Bauwerke aus Stein vorziehen müſſe.

Ich werde im nächſten Kapitel auf die Damm-Profile zurückkommen, und mag mich hier nicht in weitere Details über den Deich- oder Dammbau einlaſſen, weil dieſe Kunſt allein der Gegenſtand einer ſehr langen und intereſſanten Abhandlung ſein könnte. In dieſem Abſchnitte ſollte nur gezeigt werden, wie die Theorie der Grundwellen auch über die Erſcheinung der Schlamm-Ablagerungen Aufſchluß gibt, und wie ſelbſt bei Ausübung einer ſonſt durch viele, oft harte und unglückliche, Erfahrungen zu hoher Vollkommenheit gebrachten Kunſt noch manche nützliche Andeutungen von ihr zu erwarten ſtehen.

Achtes Kapitel.

Neues Mauerprofil für Seebauwerke.

226. Ich habe mich ſehr über das, was die Grundwellen betrifft, verbreitet, weil ich die größtmöglichſte Anzahl von Beweiſen ihres wirklichen Beſtehens aufbringen wollte, und weil ich, überzeugt davon, daß man nach ihrer Theorie die Form der, dem Meere ausgeſetzten Bauwerke beſtimmen müſſe, auch dafür hielt, daß die Auseinanderſetzung aller, auf die Grundwellen bezüglichen Erſcheinungen nur nützlich ſein könne.

227. Um ſo bedeutende Waſſermaſſen empor zu heben, wie dieß am Leuchtthurme von Eddyſtone (120) und am Felſen: das Weib des Lot (121) geſchieht, wie ſie bei den

Blaſebälgen des Teufels (123) und aus der Grotte von Teneriffa (124) ſtrahlenweiſe emporſpritzen, endlich wie ſie die gefährlichen Waſſerwände beim Pororoca, beim Bore und beim Mascaret (152) bilden, muß das Volumen und die Kraft der Grundwellen ganz außerordentlich ſein, und es kann keinem Zweifel unterliegen, daß ſie an jenen Wänden, wo ſich ihre horizontale Bewegung ſchnell in eine, mit wunderbarer Kraft, emporſteigende verwandelt, mit entſetzlichem Anſchlage wirken *).

---

*) Der Ingenieur des Straßen- und Brückenbaues, Herr Virlat, welcher bei dem Hafenbaue zu Cherbourg angeſtellt war, beſtimmt nach ſeinen Beobachtungen, daß die Kraft des Meeres auf geſtoßene und fortbewegte Körper pr. Quadrat-Metre beiläufig 3000 Kilogramme betrage. Er hat gefunden, daß ſein Kalkül ſich in folgenden Fällen beſtätigte: erſtlich bei der ganz außerordentlichen Fortbewegung eines großen Mörſers, im Gewichte von 4 bis 5000 Kilogrammen, der von einer, auf mehr als 4 Metres Höhe über die Enveloppe des Forts du Hommet empor getriebenen Meereswelle, bei einem Sturme im Jahre 1808 in den Graben geworfen wurde; zweitens bei einigen Bétonblöcken, welche von dem obern Theile der Ceſſartiſchen Kegel herrühren, und ſeit Zerſtörung dieſer Kegel auf dem ſüdlichen Abhange des Dammes von 1784 liegen geblieben ſind. Ein ſolcher Block hat ungefähr 12 Kubik-Metres und möchte 32000 Kilogramme wiegen.

Dieſe Reſultate ſind ſehr intereſſant, doch iſt es ſehr wahrſcheinlich, daß die Kraft der Grundwellen viel beträchtlicher ſei; denn man muß bemerken, daß jener Theil der Grundwellen, welcher auf den Mörſer im Fort du Hommet wirkte, in Folge der bereits erlangten Höhe, ſchon ſehr geſchwächt war, und daß, in Bezug auf die Bétonblöcke, ihre Lage von der Art iſt, daß ſie gegen den erſten Anſtoß der Grundwellen einigermaßen geſchützt ſind. Es wäre nöthig, um ſich eine vollkommene Vorſtellung von der Wirkſamkeit der Grundwellen zu machen, daß man ihre Kraft bei den größten Stürmen im Augenblicke,

228. Hiernach möchte man wohl nicht vertikale Mauerprofile als die vortheilhafteſten anerkennen, wenn es ſich darum handelt, der Wuth des Meeres zu widerſtehen. Es iſt ſehr wahr, daß die Wände derſelben ſich der Bewegung der Grundwellen unmittelbar entgegenſtellen, dafür erhalten ſie aber auch den heftigſten Stoß. Sie werden ihrer ganzen Länge nach, wie von einem Mauerbrecher, geſtoßen, geben früher oder ſpäter ſicher nach, und ihre erſchütterten Verkleidungen werden von der Rückwirkung des Anſchlages herausgeriſſen. Sonſt ſehr gutes Mauerwerk wird allenthalben durchbrochen und auseinander geworfen, und merkwürdig dabei iſt noch, daß die herausgeriſſenen Steine ſelbſt Werkzeuge der fortgeſetzten Zerſtörung werden, indem ſie durch die Grundwellen, und mit ihnen, öfter gegen das Mauerwerk geworfen werden, und auf dieſe Weiſe die Wirkſamkeit derſelben vermehren helfen.

229. Die Zerſtörungen fangen immer etwas über dem Fuße der Bauwerke an, weil dieß die Höhe iſt, wo die Grundwellen das nöthige Volumen erhalten, um mit Kraft zu wirken, und weil ſie auf dieſer Höhe auch während der Ebbe und Flut am längſten und am heftigſten anſchlagen können.

230. Einige Ingenieurs glauben, daß man den Zerſtörungen der Seebauwerke zuvorkommen könne, indem man ihre Verkleidungen aus Steinen von ungemeiner Größe zuſammenſetzt, und betrachten das Volumen des Materiales als das einzige Mittel, eine vollkommene Solidität zu erhalten. Es wurden daher manche Seebauten aus Quadern von ſehr großen Dimenſionen hergeſtellt; aber, obgleich dieſe Bauten bis jetzt noch kein Merkmal einer bedeutenderen Schadhaftigkeit zeigen, ſo kann man ſie doch nicht zur Unterſtützung die-

---

wo ſie ſich aus verſchiedenen Tiefen und unter Wellen von verſchiedener Größe und Geſchwindigkeit aus dem Meere emporheben, meſſen könnte.

ſer Meinung namentlich anführen, weil ſie, wenn ich mich ſo ausdrücken darf, der kräftigen Wirkung der Grundwellen gleichſam entzogen ſind. So ſind z. B. die äußeren Quais und die Schleuſenköpfe des Kriegshafens von Cherbourg, wie alles Uebrige daſelbſt, mit großer Vollkommenheit, aus ſehr ſchönen Granitblöcken, aufgeführt, und werden, weil ſie die am meiſten ausgeſetzten Werke ſind, als höchſt vollkommene Conſtructionen betrachtet. In der That iſt ihre Solidität in der Lage, wo ſie ſich befinden, wahrſcheinlich hinreichend; aber es iſt nicht bewieſen, daß ihre Verkleidungen eben ſo gut widerſtehen könnten, wenn ſie während der Stürme der Wuth der Grundwellen ausgeſetzt wären, was jetzt nicht geſchieht, weil der Damm die Rhede deckt. Um an der Stelle, wo jetzt der Damm ſteht, vertikale Wände jederzeit widerſtehen zu machen, wäre es nöthig, ſie aus ſolchen Blöcken zuſammen zu ſetzen, die, einzeln genommen, auch von den größten Grundwellen in dieſer Gegend nicht von der Stelle gebracht werden könnten. In Berückſichtigung der Schwierigkeiten der Gewinnung, der Bearbeitung und des Transportes ſolcher Blöcke, würden aber Conſtructionen dieſer Art außerordentlich theuer ſein, und nicht immer fände man in der Nähe der Bauplätze Steinbrüche, in welchen Steine von hinreichendem Volumen und in hinreichend großer Menge gewonnen werden könnten. Oft wäre die Auslage außer Verhältniß mit dem Zwecke der Bauwerke. Es iſt daher nützlich, Mittel aufzuſuchen, um mit geringerem Aufwande vollkommen dauerhafte Mauern herzuſtellen, damit man bei allen Bauwerken im Meere nur gewöhnliches und leicht herbeizuſchaffendes Material zu verwenden brauchte.

231. Flache Böſchungen ſind unſtreitig diejenigen Flächen, welche dem Gange der Grundwellen den geringſten Widerſtand entgegen ſetzen, und um ſo weniger einer Zerſtörung unterliegen, je ſanfter ſie ſind. Sie ſind gleichſam eine Nach-

ahmung des Meeresſtrandes, welcher, anſtatt zerſtört zu werden, durch den von den Grundwellen herbeigeführten Sand ſtets im guten Stande erhalten, und von den Grundwellen und den zurücklaufenden Wellen unaufhörlich abgeglichen wird. Ich führe in dieſer Beziehung das von mir nach der Zerſtörung des Schutzdammes von St. Jean de Luz (135) vorgeſchlagene künſtliche Ufer an. Seine Böſchung iſt ungefähr jene des natürlichen Strandes; die Figur 38 zeigt ſein Profil e A f g h m n. Es erhebt ſich beiläufig 3,5 Metres (11 Schuh) über die Fläche des zu ſchützenden Erdreiches, wo die Stadt ſteht; der hinterſte Theil desſelben beſteht aus einem beſonderen Körper von Erde, mit Sand vermengt, i k m n, und iſt beiderſeits trocken mit Steinen verkleidet. Dieſes Ufer widerſteht ſehr gut; die ungeſtümſten Grundwellen breiten ſich darauf aus und bedecken es noch weit höher als zum Punkte F, welcher im gleichen Niveau mit der Stadt liegt, mit Schaum, ohne ſeine Oberfläche im Geringſten anzugreifen, ja ſie hat ſich ſelbſt verbeſſert und in dem Punkte f und hoch oben in h ſogar erhöht, und es bildete ſich an letzterem Punkte, ſo wie gewöhnlich auf der Höhe eines natürlichen Strandes, ein kleiner Sandhügel *).

*) Herr Blondeau hatte im Jahre 1777, um die Inſel Noirmoutiers vor den Verwüſtungen des Meeres, das in wenigen Stunden den durch ein ganzes Jahr gebauten Damm zerſtörte, zu beſchützen, einen künſtlichen Strand vorgeſchlagen. Um ſeine Motive beſſer zu unterſtützen, führte er als Beiſpiel den guten Erfolg eines künſtlichen Strandes an, den man ſtatt der Dämme, um das Dorf Sangatte bei Calais zu beſchützen, ausgeführt hatte; aber aller Orten läßt ſich dieſe Art von Ufer nicht herſtellen, und erſt in der letzten Zeit gelang es, die Inſel Noirmoutiers mittelſt des erwähnten Dammes von Devin (224) der jetzt ein künſtliches, durch Verſandungsſporne (épis d'ensablement) verſtärktes Ufer bildet, zu ſichern. (Mémoire, inséré au tome X du Journal de physique p. 382.)

Bemerkenswerth bleibt es, daß dieſer Strand, obgleich weniger hoch, als der frühere Damm, das Meer doch viel beſſer zurückhält, ein Reſultat, das mit der Theorie übereinſtimmt.

Das neue Ufer von St. Jean de Luz entſpricht dem damals vor Augen gehabten doppelten Zwecke: die Stadt ſchnell der großen Gefahr eines neuen Angriffes von Seite des Meeres zu entziehen und den Ingenieurs Zeit zu geben, Schutzbauten aus Mauerwerk zu entwerfen, welche jedenfalls koſtſpieliger, aber wahrſcheinlich nicht zweckmäßiger und leichter im Stande zu erhalten ſein dürften.

232. Die Vortheile der, zur Aufnahme der Grundwellen beſtimmten, ſanften Böſchungen und jeder derlei geneigten Ebenen, wiegen indeſſen den Nachtheil nicht auf, daß ſie viel Terrain, über das man nicht ſtets verfügen kann, brauchen, und dort ſehr koſtſpielig ſind, wo es nöthig wäre, ſie aus Mauerwerk auf ſoliden Gründungen herzuſtellen. Es gibt außerdem noch Fälle, wo die Anwendung flacher Böſchungen gar nicht zuläſſig iſt, wie namentlich bei Quais, Molos und bei fortificatoriſchen Mauern. — Bettungen, welche man zuweilen anlegt, um den Fuß der Bauwerke vor Unterſpühlungen zu ſchützen, werden gewöhnlich den zu ſchützenden Theilen noch dadurch nachtheilig, daß ſie den Grundwellen alle ihre Heftigkeit, an die Verkleidungen anzuſchlagen, laſſen.

233. Die Theorie der Grundwellen gibt uns eine Geſtalt der Verkleidungen an, welche von allen dieſen Nachtheilen frei iſt, und uns in den Stand ſetzt, zu gleicher Zeit alle Bedingungen, in Beziehung auf die Beſtimmung der Bauwerke und in Betreff des, dem Meere entgegen zu ſetzenden, Widerſtandes, vollkommen zu erfüllen.

Da die Grundwellen nichts Anderes, als auf dem Grunde des Meeres dahinlaufende und von den Wellenſchwingungen geführte Waſſermaſſen ſind (92), ſo iſt das beſte Mittel, ih-

ren Stoß aufzuheben, gewiß die Entgegenſetzung einer ſolchen Fläche, welche ihre Richtung in jedem Augenblicke ablenkt, ſo daß die anfängliche horizontale Bewegung allmälig ohne Stoß in eine vertikale übergeführt wird.

Eine concave, nach einem Kreisſegmente, deſſen Profil, Figur 40, A P iſt, hergeſtellte Verkleidung erfüllet dieſen Zweck; denn die am Grunde tangential aufgenommenen Grundwellen b und c werden abgelenkt und bis an die Oberfläche des Meeres A geführt, wo ihre Wirkung ſich in die Luft verliert. Dieſe Grundwellen brechen ſich dann mit den andern gewöhnlichen, und üben weiter keinen Stoß mehr gegen die Verkleidung des Mauerwerkes aus; ſie heben ſogar den der ſchwingenden Waſſermaſſe auf, indem ſie ſich gerade in dem Momente, wo in Folge der Bahnbewegung der Waſſerelementchen (48) ein ſolcher Schlag erfolgen ſollte, zwiſchen das Mauerwerk und die ſchwingenden Wellen eindrängen.

234. Ich habe, ohne mich mit der Aufſuchung derjenigen Kurve, welche den, allenfalls zu ſetzenden Bedingungen am beſten entſpräche, aufzuhalten (weil dieſe Unterſuchung am Ende doch faſt nutzlos iſt), für die Profile blos Kreisſegmente angewendet.

Eine Kurve, welche an demjenigen Punkte, wo ſie mit dem Grunde des Meeres tangential zuſammen läuft, einen ſehr großen Krümmungshalbmeſſer hat, wie dieß bei einem Bogen der Ellipſe, der Cycloide oder der Spirale der Fall wäre, entſpräche deßwegen beſſer, weil die Ablenkung der Grundwellen von ihrem Wege anfangs unmerklich und allmälig immer beträchtlicher würde. Aber ohne großen Vortheil müßte die Maſſe des Mauerwerkes und die Ausdehnung der Gründungen vermehrt werden, und es würden ſich Schwierigkeiten bei der Zuarbeitung der Steine und bei der Mauerung ergeben, die bei Kreisſtücken nicht vorkommen.

235. Ich habe dieſes Profil im Jahre 1818 vorgeſchla-

gen, und es ſelbſt bei den großen Wiederherſtellungen an der Befeſtigung von St. Martin auf der Inſel Ré im Jahre 1820 ausführen laſſen. Dieſe Reparaturen ſind ſeither nach demſelben Syſteme fortgeſetzt worden, ſo daß jetzt 425 Currentmetres, nach dieſem Profile hergeſtellte Verkleidungen von dem Meere beſpült werden. Der Erfolg davon iſt vollſtändig zu nennen. Die Grundwellen ſpielen auf den Oberflächen derſelben, und man kann jetzt von ihrem Anſtoße, der ſonſt an denſelben Stellen der Mauern Statt fand, und von dem ſie auch zerſtört wurden, weder etwas hören noch ſonſt verſpüren. Es ſind jetzt bereits mehr als zehn Jahre verfloſſen, ſeit die erſten Theile dieſer concaven Verkleidungen hergeſtellt wurden, und obwohl dieß, im Vergleiche mit der Dauer, welche man von jedem Bauwerke zu erwarten berechtiget iſt, nur ein ſehr kurzer Zeitraum genannt werden kann, ſo genügt dieſer Verſuch doch ſchon, um alle Vortheile dieſes Mauerprofiles zu würdigen.

Die Figur 41 zeigt das Profil, ſo wie es aus Oekonomie, den Lokalitäten anpaſſend, auf der Inſel Ré ausgeführt wurde. Die Verkleidung **A B** der alten, mit einer ebenen Oberfläche verſehenen Mauer war zerſtört, und das angegriffene Mauerwerk zeigte eine unregelmäßige Oberfläche **a b**. Dem Halbmeſſer des eingehenden Bogens hat man nur acht Metres zur Länge gegeben.

236. Außer dem vorgeſetzten Hauptzwecke, nämlich dem, die ſchädliche Wirkung der Grundwellen aufzuheben, erlangte ich überdieß durch das neue Profil auch noch einen hohen Grad von Feſtigkeit, indem die Steine der Verkleidung ſo wie zu einem Gewölbe angearbeitet und gelegt wurden, daher auch keiner, ſelbſt wenn heftige Stöße unter dieſen Verhältniſſen möglich wären, von ſeiner Stelle rücken könnte. Dieſes ſichert den erwähnten Reparaturarbeiten eine längere Dauer, als ſie bei der ſeit 1634 beſtehenden Verkleidung der früheren Con-

ſtruction möglich war, und gewährt eine unvergleichlich größere Solidität, als wenn ich mich bloß, wie es mehrmals an derſelben Stelle geſchehen iſt, darauf beſchränkt hätte, das alte Profil **A B** beizubehalten. Bei Anwendung meines Profiles zu Neubauten müßte ſich die größere Solidität in noch höherem Grade ergeben.

237. Der Felſen- und jeder andere gute Baugrund hat für die concaven Profile noch den beſonderen Vortheil, der erſten Schaar der Gewölbſteine an und für ſich einen unverrückbaren Stützpunkt zu gewähren. Doch braucht man keineswegs auf minder gutem Grunde dieſem Profile zu entſagen; es wäre bloß nöthig, die Verkleidung in Form einer Bettung, **PR** Fig. 42, tangential zur Krümmung des Profils und zum Meeresgrunde zu verlängern, und dadurch für den umgekehrten Bogen ein hinreichend breites gemauertes Auflager herzuſtellen. Zu dieſer Bettung werden die größtmöglichen Steine verwendet, und in Falzen und Schwalbenſchweifen gehörig verſchnitten; das Ganze ruhet auf einem doppelten Holzroſte oder auf einer Béton-Unterlage, damit der Schub der Verkleidung, der übrigens, da die Gewölbſteine größtentheils auf dem Mauerwerke ruhen, nicht bedeutend iſt, gehörig aufgenommen werde. Da die Bettung niedriger liegt, als das Niveau der Grundwellen, ſo iſt von der Wirkung der letzteren nichts zu beſorgen, doch könnte man davor eine Faſchinenlage anbringen, oder ſelbſt eine Spundwand einſchlagen laſſen, um den Grund zuſammen zu halten, und jeder Setzung vorzubeugen; eine Steinſchüttung dürfte jedoch nicht gemacht werden, weil ſie gewiß Veranlaſſung zur Zerſtörung des ganzen Bauwerkes ſein würde (135).

238. Ein Umſtand machte die Herſtellung der Gründungen auf der Inſel Ré ſehr leicht; man konnte nämlich daran zur Ebbezeit arbeiten: wenn ſich das Meer aber nicht zurückgezogen und die Bauſtelle nicht hinlängliche Zeit, oder nicht

gänzlich verlaſſen hätte, ſo wären künſtliche Mittel in Anſpruch zu nehmen geweſen, um die Arbeit im Trockenen vornehmen zu können. Ich werde im nächſten Kapitel zwei Methoden in Vorſchlag bringen, um auch in den ſchwierigſten Fällen, das iſt, bei großen Waſſertiefen, Gründungen ohne Ausſchöpfungen auszuführen.

239. Herr von Baudre, Ingenieur en chef des Straßen- und Brückenbaues, welchem ich eine Zeichnung meines concaven Profiles mitgetheilt, und von deſſen gutem Erfolge auf der Inſel Ré erzählt hatte, machte, als er im Jahre 1823 mit den Seebauten bei St. Jean de Luz beauftragt war, davon bei der Herſtellung des Hafen-Molo's von Socoa in der Bai von St. Jean de Luz, eine Anwendung. Er dachte, ſo wie ich, daß dieſes Profil die Solidität der Herſtellungen für immerwährende Zeiten verbürgen könne, während gar keine zu hoffen blieb, wenn man die Verkleidungen mit ſenkrechten Wänden wieder ſo hergeſtellt hätte, wie ſie nach dem Prinzip des Herrn von Brémontier vor kaum 50 Jahren, zugleich mit dem Molo, erbaut worden ſind.

Das noch im Baue begriffene Profil wird durch die Figur 43 dargeſtellt; es iſt aus zwei verſchiedenen Zirkelſtücken zuſammengeſetzt. Man hat dem unteren Bogen einen Halbmeſſer von 11 Metres, dem obern einen Halbmeſſer von 8 Metres gegeben. Das Niveau der Ebbe erlaubte hier auch, ſo wie auf der Inſel Ré, die Gründung im Trockenen vorzunehmen.

240. Man könnte das Profil aus einer großen Zahl von Bögen, von verſchiedenen Halbmeſſern, zuſammenſetzen, um es einem Stücke der Cycloide oder der Spirale ähnlich zu machen. Die Hauptſache dabei iſt, daß die krumme Linie ſich mit dem Grunde des Meeres, und eben ſo mit der Oberfläche der Mauer tangential verbinde. Das Bauwerk muß übrigens jedenfalls hoch genug ſein, um die Bewegung der Grundwellen bei jedem Meeresſtande zu leiten und allen Anſtoß derſel-

ben ſchlechterdings unmöglich zu machen. Am angemeſſenſten ſcheint es mir zu ſein, wenn man den Tangirungspunkt der krummen Linie mit der Mauerflucht in das Niveau des höchſten Meeres legt, vorausgeſetzt, daß dieß die Ausdehnung der concaven Oberfläche nicht zu ſehr einſchränkt, wodurch der Zweck verfehlt würde. In dem letzten Falle müßte man jenen Punkt über dieſes Niveau legen, wie es auf der Inſel Ré geſchah, und ihn ſo annehmen, daß die Concavität den Grundwellen zu ihrer völligen Entwickelung hinlänglichen Raum darbiete. In keinem Falle dürfte jedoch der Tangirungspunkt zu niedrig, oder unter dem Niveau des höchſten Meeres angenommen werden, um nicht etwa einen Theil der ebenen Mauer dem Stoße ſolcher Wellen auszuſetzen, welche noch nicht zu einer Höhe gelangt ſind, wo ihre Wirkung ſich bricht.

241. Man muß ſich hüten, in ſolcher Höhe, bis wohin die Grundwellen noch aufſteigen könnten, an den Verkleidungen der Bauwerke Geſimſe, Kordons, oder überhaupt vorſpringende Verzierungen anzulegen, denn ſie würden ſicher zerſtört werden.

242. Es iſt oft nicht hinreichend, den oberſten Theil eines Quais oder eines Molo's höher, als das Niveau der höchſten Wellengipfel zu halten, um ihn der Benetzung von dem, durch die aufſteigende Bewegung der Grundwellen ſchäumend emporgetriebenen, Waſſer zu entziehen. Man erreicht dieſen Zweck durch ein Parapet, Figur 43; um aber die Unkoſten für dieſes Parapet bei den concaven Mauern zu erſparen, könnte man das Profil überhängend fortſetzen, ſo wie es die Fig. 44 zeigt. Dadurch würde, ohne Erhöhung des Mauerwerkes, das ſich brechende Waſſer wieder ins Meer zurück geworfen. Die vollkommene Feſtigkeit des obern Theiles ließe ſich, durch Anwendung von ſehr großen Steinen und durch eine ſolche Anordnung derſelben, wo mehrere Schaaren unter einander verbunden ſind, ohne Schwierigkeit erzielen.

243. Die einzige, anſcheinend richtige Einwendung gegen mein concaves Profil betrifft den Koſtenpunkt, weil concav hergeſtellte Mauern wirklich theurer ſind, als ſenkrechte, oder die mit einer kleinen Böſchung. Die Antwort darauf iſt jedoch einfach und beſtimmt folgende: So gering auch die Auslage für die erſte Herſtellung einer, mit geraden Oberflächen verſehenen, und den Grundwellen ausgeſetzten Mauer erſcheinen mag, ſo iſt der größte Theil derſelben doch verloren, weil die Erfahrung lehrt, daß ſolche Mauern nicht Stand halten, und Veranlaſſung zu immerwährenden, wenig dauerhaften Reparaturen geben, ſo zwar, daß nach Verlauf einer gewiſſen Anzahl Jahre die Summe der Unkoſten, mit Inbegriff jener für die wiederholten Reparaturen, den höheren Preis für die Erbauung einer concaven Mauer, deren Dauer faſt unabſehbar iſt, und wo faſt gar keine Reparaturen nöthig werden, bei weitem überſchreitet.

Man könnte ſagen: daß es möglich ſei, wenn man die kleinen Schadhaftigkeiten, ſobald ſie ſich zeigen, gleich herſtellet, auch die lange Dauer einer ebenen Verkleidung zu ſichern. Wenn es ſchon eine große Unzukömmlichkeit iſt, die Zerſtörung eines Bauwerkes von der Sorgloſigkeit oder Vergeſſenheit abhängig zu wiſſen, ſo muß man auch noch bemerken, daß die Schäden anfänglich innerhalb und verſteckt ſind, indem ſie mit dem Bruche der Binder, und dem Loslöſen der in das Mauerwerk eingreifenden Quader beginnen, und daß, wenn ſie ſichtbar werden, ſie ſich nicht auf einzelne erſchütterte Steine beſchränken, ſondern weit öfter bereits ein großes Stück der Verkleidung losgeriſſen iſt, und mit einem Male zuſammenſtürzt. Kleine Reparaturen können ſolche Zerſtörungen weder gut machen, noch ihnen zuvor kommen; ſobald eine Verrückung der Verkleidung ſichtbar wird, iſt das Uebel ſchon zu groß, um deſſen Verbeſſerung von den zur gewöhnlichen Inſtandhaltung beſtimmten Summen beſtreiten zu können.

Die Wiederherſtellung ſolcher zerſtörten Verkleidungen, nach der urſprünglichen Form, bleibt ſtets eine Flickerei ohne Haltbarkeit, ſo groß auch die Sorgfalt bei der Arbeit ſein möchte, und ſo künſtlich man auch das alte Mauerwerk mit dem neuen zu verbinden bemüht wäre, und dieß in um ſo höherem Grade, je bedeutender die Reparaturobjecte ſind. Es gibt viele derlei Wiederherſtellungen, welche mehrmals, kaum beendiget, ſchnell von den Grundwellen wieder zerſtört worden ſind. Es kann daher nicht fehlen, daß man für die größere Auslage zu der neuen Art von Mauern, durch die Erſparung an Reparaturen völlig entſchädigt wird.

244. Uebrigens verurſacht das von mir angegebene concave Profil bei weitem nicht eine ſo große Koſtenvermehrung, als man auf den erſten Blick hin denken möchte; denn der breite Fuß der neuen Mauern geſtattet, ohne Beeinträchtigung der Stabilität gegen den Erddruck, eine bedeutende Verminderung der oberen Mauerdicke.

245. Wenn die Mauern nur ſolchen Grundwellen ausgeſetzt ſind, die bloß Schlamm und ſehr feinen Sand führen, ſo kann zur Verkleidung ein Stein von mittlerer Härte verwendet werden; führen die Grundwellen jedoch Geſchiebe, ſo werden die Steine der Verkleidung durch die Reibung angegriffen, und es können nur ſehr harte Steine für dieſelbe zweckmäßig ſein. Deſſen ungeachtet hat man für die concaven Mauern auf der Inſel Ré doch keine harten Steine vorgeſchlagen; aber nur aus Beſorgniß, daß dieß ein Grund werden könnte, einen ſo nützlichen Verſuch zu verzögern. Die dortigen Verkleidungen ſind aus Steinen von Saintonge, welche keine beſondere Härte haben, hergeſtellt, und die Geſchiebe haben hie und da Furchen in ihnen gebildet. Dieſe Art von Beſchädigung hat Veranlaſſung zu dem Einwurfe gegeben, daß die Geſchiebe an den geraden Mauern keine ſolche Reibung ausüben, als an den concaven. Dieß kann wahr

ſein; aber die, von der Reibung der Geſchiebe an den wei-
chen Steinen der concaven Mauer ſehr langſam zunehmende Beſchädigung iſt in gar keinen Vergleich zu ſtellen mit der ſchnellen und gewaltſamen Verrückung der Verkleidungsſteine eines ebenen Profils durch die Grundwellen. Die einfachſte und ſicherſte Abhilfe des, von der Reibung der Geſchiebe an den concaven Mauern herkommenden Nachtheiles iſt die Anwendung einer ſolchen Steingattung zu deren Verkleidungen, welche härter iſt, als die Geſchiebe; zur geradlinigten Verkleidung einer, von den Grundwellen getroffenen Mauer könnte man aber auch den härteſten Porphyr nehmen, ſie würde nichts deſtoweniger ſchnell erſchüttert und auseinandergeworfen werden.

246. Bei dem Hafen-Molo von Socoa ſind derlei Beſchädigungen durch die Reibung des Sandes und der Geſchiebe nicht zu befürchten, weil die zu ſeiner Verkleidung verwendeten Steine außerordentlich hart ſind. Den Granit findet man faſt allenthalben in der Nähe der Küſten, und ſein Transport zu Waſſer in Blöcken von mittlerer Größe iſt nicht ſehr koſtſpielig; es iſt daher kein Anſtand vorhanden, ihn bei Herſtellung von concaven Mauern zu verwenden. Man wird dabei, welches auch ſein Anſchaffungspreis ſein möchte, immer noch Vortheil ziehen, denn die Verkleidung kann, in Bezug auf ſeine Härte, eine geringere, mittlere Dicke erhalten, als bei einem weicheren Steine nöthig wäre.

247. Man wendet endlich gegen das Syſtem der concaven Verkleidungen ein, daß, im Falle bedeutenderer Zerſtörungen, wenn nämlich die Erſetzung einiger Steine nothwendig wird, die Reparatur-Arbeiten ſchwieriger, als bei den ebenen Mauern wären; doch kann man leicht einſehen, daß dieſe Schwierigkeit nicht größer ſein kann, als die, wenn es ſich darum handelt, Steine in ein nach Art eines umgekehrten Gewölbes hergeſtelltes Radier, oder in eine, nach einem eingehenden Bogen gebaute Futter-Mauer einzuſetzen.

Der einzige, von der Krümmung der Verkleidungsoberfläche herrührende Nachtheil beſteht darin: daß der letzte Stein bei der Reparaturarbeit nicht als Gewölbeſtein zugearbeitet werden kann; ſeine beiden Lagerflächen müſſen parallel laufen, ſo wie die entſprechenden Theile der zwei Nachbarſchaaren, damit der betreffende Stein gleichſam wie ein Schlußſtein an ſeine Stelle gebracht, und dort feſt gemacht werden könne. In Beziehung auf die Eigenthümlichkeit der concaven Oberfläche, die Grundwellen abzulenken, braucht man keine Beſorgniß zu tragen, daß irgend eine Erſchütterung dieſen Schlußſtein von ſeinem Platze reißen werde. Nicht ſo iſt es aber in Bezug auf die bei den Reparaturen neu eingeſetzten Steine einer, von den Grundwellen getroffenen, ebenen Mauerverkleidung. Die Schwierigkeiten ſind demnach für beide Mauerprofile ziemlich dieſelben; und wären ſie auch für die concaven Verkleidungen größer, ſo iſt wenigſtens der Erfolg der Reparaturen ſicher, während bei den ebenen Verkleidungen gerade das Gegentheil Statt findet.

248. Ich habe im vorigen Kapitel bemerkt, daß die Dämme, welche man zum Schutze der Anhägerungen dem Meere entgegenſetzt, weit auslaufende, zuweilen aus Faſchinenwerk hergeſtellte Böſchungen haben. Es wäre nicht unnütz, zu verſuchen, ſtatt dieſer ſanften Böſchungen ein concaves Profil, ebenfalls aus Faſchinen, deſſen Ausführung keiner beſonderen Schwierigkeit zu unterliegen ſcheint, anzuwenden. Die Bauwerke würden dadurch feſter, die Dämme nähmen weniger Raum ein, ſie würden die Grundwellen völlig vernichten, und gäben daher einen beſſeren Schutz.

249. An einigen Punkten des Oceans beſtehen die zum Schutze der, unter dem Niveau des höchſten Meeres liegenden, Ländereien hergeſtellten Dämme aus Erde und Sand, an der Seeſeite mit einer Lage thoniger Erde belegt, und mit Steinen verkleidet; ſie ſtellen den Grundwellen eine Böſchung

entgegen, deren Anlage doppelt ſo groß iſt, als ihre Höhe. Seit einiger Zeit erſetzt man dieſe Abpflaſterungen durch förmliche Mauern, deren Außenwand aus Bruchſteinen gebildet iſt, und ein Viertel der Höhe zur Böſchungsanlage hat. Die Anwendung meines Profils zu dieſen Dämmen brächte eine große Erſparung in Bezug auf die Erhaltung zuwege; das Mauerwerk ſelbſt könnte trocken aufgeführt werden, und nur die, nicht gar zu ſtarke, Verkleidung wäre in Mörtel zu legen, damit die nöthige Solidität erlangt werde*).

250. Ungeachtet aller Vortheile meines Syſtemes der concaven Mauern bin ich doch weit entfernt, es überall und für alle Bauten am Meere als zweckmäßig vorzuſchlagen. Es iſt unſtreitig das Einzige, welches man den Grundwellen, ſobald ſie, von was immer für einer Seite herkommend, das Mauerwerk treffen, mit Vortheil entgegen ſetzen darf. Bei jeder anderen Stellung des Bauwerkes jedoch, wo die Verkleidung parallel mit der beſtändigen, oder wenig veränderlichen Richtung, nach welcher ſich die Wellen fortpflanzen, liegt, wo alſo die unter der Undulation fortſchreitenden Grundwellen eigentlich nicht anſchlagen, wäre das concave Profil nicht al-

---

*) Der Ingenieur-Hauptmann Dobeinheim, welcher im Jahre 1791 mit der Wiederherſtellung des Schutzmauerwerks auf den vom Meere beſpülten Dämmen zwiſchen den Marktflecken Saint-Vaaſt und la Hougue beauftragt war, baute ſtatt der oft zerſtörten früheren verticalen Mauer eine Böſchung unter dem Winkel von 45 Graden mit retirirenden Schaaren, Fig. 74, in der Abſicht, den Mörtel in den Fugen beſſer zu ſchützen, und den Wellen durch die allenfalls von der Stelle gerückten Steine durchaus keinen Anſtoß zu geben. Dieſe Anordnung hat ſehr lange beſtanden; ſie iſt gut bei kleinen Bauwerken; bei verticalen Mauern hat das Zurücktreten der Schaaren keinen Zweck, auf langen Böſchungen wäre es vielleicht gar nachtheilig, weil die zurücklaufenden Wellen angehalten werden.

lein unnütz, ſondern ſelbſt ungeſchickt angebracht. In dieſem Falle gebietet die Oekonomie, das gewöhnliche Profil beizubehalten, und nur jene zweckmäßigere Anordnung der Verkleidungsſteine anzuwenden, welche im 10. Kapitel beſprochen werden wird.

251. Der Zweck meines concaven Profiles iſt, wie man geſehen hat, der, die Grundwellen vom Meeresbette aufzunehmen, und ſie allmälig, ohne Stöße, bis an die Oberfläche des Waſſers zu führen, wo ſie ihre Kraft, indem ſie in die Luft hinwirkt, verlieren, und in ſich ſelber zurückfallen. Ich glaube nicht, daß man vor mir etwas dergleichen ausgeführt, oder auch nur projectirt habe.

Einige concave Theile, welche man zuweilen bei Seebauten angewendet findet, bilden nur Bögen von wenig Graden, und dienen blos dazu, zwei Ebenen, welche mit einander einen ſehr großen Winkel bilden, zu vereinigen, wie in ab, Fig. 45, im Profile eines, im Jahre 1734 für die Bauten am Adour projectirten Dammkopfes zu ſehen iſt; oder ſie hatten zum Zwecke, die letzte Kraft einer auslaufenden Welle zu brechen, um auf dieſe Art die Böſchung verkürzen, und die Dicke des Dammes ein wenig verringern zu können, wie dieß das Profil des, im Jahre 1822 zerſtörten Dammes von St. Jean de Luz in CD zeigt. Sie ſind von geringer Größe, und an ſolchen Stellen angebracht, daß man leicht wahrnehmen kann, es ſei bei ihrer Anordnung nicht im Geringſten auf die Grundwellen, die man überdieß damals noch gar nicht kannte, Bedacht genommen worden.

Von bedeutenderen ſolcher concaven Verbindungen zweier Ebenen, welche doch wenigſtens in Beziehung auf ihre Größe einige Aehnlichkeit mit meinem Profile haben, vermochte ich nur zwei aufzufinden. Sie ſind durch die Figuren 46 und 47 dargeſtellt, aber nicht etwa als Muſter zur Nachahmung, ſondern im Gegentheile als Anordnungen, welche man ſorg-

fältig vermeiden muß, weil ſie den von mir entwickelten Prinzipien nicht entſprechen.

252. Das ältere dieſer beiden Profile, Fig. 46, iſt im Jahre 1734 von dem Fortifikations-Directeur, Herrn Touros, für die ſchon lange vorher projektirten, und damals wieder in Antrag gebrachten Dämme von St. Barbe und von Socoa entworfen worden. Der Zweck der Dämme war, die Einfahrt zur Rhede von St. Jean de Luz bis auf 80 Klafter zu verengen, und Ruhe im Innern dieſer, allen Stürmen ausgeſetzten Rhede herzuſtellen. Man wollte ſie, wie aus dem Profile zu erſehen iſt, auf eine Schüttung von verlorenen Steinen gründen, deren Höhe an den tiefſten Stellen unter dem Waſſer 40 Fuß betragen hätte, und deren Böſchung auf der Seeſeite drei zur Anlage, und zwei zur Höhe gegeben werden ſollte. Der Anfang des concaven Theiles vom Mauerwerke lag im Niveau des niedrigen Meeres; dem Halbmeſſer des Segmentes wurden 5,5 Metres gegeben. Es iſt leicht vorauszuſehen, daß, wenn die Dämme nach dieſem Profile erbaut worden wären, die enormen Grundwellen auf der Rhede von St. Jean de Luz, ſo wie es im Jahre 1822 am Schutzdeiche geſchah (135), auch hier die Blöcke der Steinſchüttung ergriffen, und bis zu deſſen gänzlicher Zerſtörung gegen das Mauerwerk geſtoßen haben würden. Es ſcheint, daß dieſe Dämme deßwegen nicht begonnen worden ſind, weil die Militär-Ingenieurs, ſo wie jene des Straßen- und Brückenbaues, die ungeheueren Schwierigkeiten dieſer Arbeit zu ermeſſen vermochten, und weil die Seeleute von St. Jean de Luz, welche die Heftigkeit des Meeres an ihrer Küſte zu beurtheilen geübt ſind, der Ueberzeugung waren, daß den Winter hindurch dasjenige zerſtört werden würde, was im Sommer gebaut worden war*).

---

*) Mémoire sur la baie de St. Jean de Luz pa M. le chevalier Isle. 1788.

Es iſt ein Glück, daß man den Verſuch mit dieſer Konſtruktion nicht unternommen hat; ſie würde dasſelbe Schickſal wie der Schutzdamm, und wie jener von Becquet gehabt haben.

253. Neun und vierzig Jahre ſpäter wurde der Bau der zwei Dämme, nachdem es dem Herrn von Brémontier gelungen war, zu beweiſen, daß die durch eine enge Einfahrt eindringenden Wellen ſich auf der weiten Oberfläche der Rhede verlieren, vom Neuem beſchloſſen und begonnen.

254. Es iſt keinem Zweifel unterworfen, daß ein concaves Profil, wie das Fig. 40, beim Bau dieſer Dämme mit dem beſten Erfolge angewendet geweſen wäre; ſo aber zeigten die, nach Brémontier's Syſteme, mit vertikalen Oberflächen hergeſtellten Theile, nachdem man kaum 80 Klafter auf der Seite von St. Barbe vollendet, und 70 Klafter auf der Seite des Forts von Socoa zur Ebbezeit gegründet hatte, ſchon bedeutende Zerſtörungen. Die Revolution unterbrach dieſe Arbeiten. Nachdem die Zerſtörungen an den Enden der Dämme und an verſchiedenen Punkten ihrer Länge ſchnell zunahmen, und ſich durch und durch gehende Löcher gebildet hatten, überließ man das Ganze ſeinem Schickſale, in der noch immer gehegten Ueberzeugung, daß an dieſer Stelle ein Bauwerk nicht ausführbar ſei, während der unglückliche Erfolg dieſer nützlichen Unternehmung doch nur dem fehlerhaften Profile, welches man gewählt hatte, zuzuſchreiben iſt.

Wenn die beiden Dämme an den für ſie beſtimmten Stellen zweckmäßig erbaut worden wären, ſo hätten ſie gewiß Ruhe auf der Rhede hervorgebracht. Der gute Erfolg, welchen die im Jahre 1788 erbauten zwei Stücke während der kurzen Zeit ihres Beſtandes hervorbrachten, gab hiervon den Beweis. Sie hätten den Schutzdeich entbehrlich gemacht, der Stadt St. Jean de Luz den Vortheil ihres Hafens

geſichert, und der Marine eine ausgedehnte Zufluchtsſtätte gewährt.

255. Bei Anwendung meines Profiles für dieſe Dämme hätte man demjenigen Theile, der zur Zeit der Ebbe gegründet werden kann, ſo wie dem, in der Wiederherſtellung begriffenen Molo von Socoa (236), Fig. 43, einen Halbmeſſer von 10 Metres geben können. Für größere Tiefen würde der Halbmeſſer ſich verändert, und höchſtens 23 Metres erhalten haben; zugleich hätten an ſolchen Stellen die Dämme bis zum Niveau des niedrigen Meeres, nach einer der im nächſten Kapitel angegebenen Arten gegründet werden können.

256. Das zweite Profil, Fig. 47, iſt von D. Thomas Munos, Ingenieur en Chef bei der ſpaniſchen Marine, der ſich desſelben bei der Wiederherſtellung der ſüdlichen Umfaſſung von Cadix vom Jahre 1787 bis 1795 bediente. Der concave Theil iſt ein Stück einer Ellipſe, deſſen mittlerer Krümmungshalbmeſſer beiläufig 5 Metres beträgt, und dient dazu, die Linie der Mauerflucht, und die Oberfläche einer mit Bohlen belegten Bettung von 17,5 Metres Länge in eine continuirliche Verbindung zu bringen. Eine Reihe feſt an einander ſchließender, mit Mauerwerk angefüllter Käſten, die nur wenig über das niedrigſte Waſſer hervorragten, und vor welchen dann eine Steinſchüttung ausgeführt wurde, hatte dem, wahrſcheinlich mit Béton ausgefüllten Hauptkörper der Bettung als Umfaſſung gedient. Die Bohlenverkleidung hatte zum Zwecke, die Auswaſchung des Mauerwerkes durch das Meer vorläufig zu verhindern, oder demſelben doch Zeit zu laſſen, um eine zum alleinigen Widerſtande hinlängliche Konſiſtenz anzunehmen. Nach dieſer Konſtruktion iſt eine Länge von mehr als 1000 Metres ausgeführt worden. Sie hat in den 9 Jahren, während welchen man daran arbeitete und zugleich die vor ihrer Beendigung häufig eingetretenen

Beſchädigungen herſtellte, beiläufig 12 Millionen Franken gekoſtet. Im Jahre 1796 überließ man dieß Bauwerk ſich ſelbſt, weil man erkannte, daß es keine Mittel gäbe, den in den Wintermonaten jährlich verurſachten Beſchädigungen zuvor zu kommen. Jetzt iſt es gänzlich verfallen; man findet kaum hie und da einige Spuren der Bettung oder der Käſten, welche ſie umſchloßen. Man hat mit der Zeit wahrgenommen, daß dieſes Mauerwerk durch die Blöcke der Steinſchüttung, welche auf die Bettung geworfen und bis an die Mauer getrieben wurden, zerſtört worden ſei. Es kann keinem Zweifel unterworfen ſeyn, daß dieſe Bewegung der Steinblöcke, ſo wie bei St. Jean de Luz und im Hafen von Becquet von den furchtbaren Grundwellen herrührte, die der Ocean mit den ungeheuren Wogen herbeiführte. Auf dieſe Weiſe ſind die Steinſchüttungen der Dämme von Becquet und von St. Jean de Luz, und der Umfaſſungsmauer von Cadix gleich Nachtheil bringend für jene Bauten geweſen, zu deren Schutze ſie beſtimmt waren.

257. Man könnte die Einwendung machen, daß andere Steinſchüttungen, ſo wie jene der Dämme am Adour, keine Beſchädigungen veranlaßt haben; die Urſache davon liegt aber in dem Umſtande, daß namentlich dieſe Steinſchüttungen von den Grundwellen, die ſchon an der Sandanhäufung (Barre) angehalten werden und ſich brechen, nicht erreicht werden.

Man könnte ferner einwenden, daß Steinſchüttungen den Brückenpfeilern eben ſo wenig, wie in vielen andern Fällen nachtheilig ſind; dieß kommt daher, weil es in den Flüſſen, ſo entfernt von der Einmündung, als gewöhnlich die Brücken zu ſtehen pflegen, keine hinreichend kräftigen Grundwellen gibt. Im Allgemeinen kann man ſagen: daß Steinſchüttungen dort, wo ſie keine Zerſtörungen verurſachen, vor Grundwellen geſchützt ſein werden. Man muß ſich daher ſehr ſorgfältig enthalten, ſie irgend bei einem Bauwerke anzuwenden,

welches den Wellen, und den meiſtens unter ihnen fortlaufenden Grundwellen ausgeſetzt iſt.

258. In England wurden auch verſchiedene Mauern nach einem etwas concaven Profile hergeſtellt. Aus einem ſolchen Profile, Fig. 48*), läßt ſich indeſſen leicht abnehmen, daß ſie nicht dazu beſtimmt ſind, die Grundwellen, welche beinahe mit derſelben Heftigkeit wie auf ebene Flächen anſchlagen, unſchädlich zu machen. Die Krümmung jener Profile dient blos dazu, den Mauern eine größere Widerſtandsfähigkeit gegen den Erddruck, und eine nach Art der Wölbungen zugearbeitete Verkleidung zu geben. Uebrigens wurden dieſe Mauern bisher immer nur zu Quai's in den Docks, zu Werften und zu Schleuſen, alſo ſtets dort angewendet, wo ſie dem Angriffe des Meeres nicht ausgeſetzt ſind. Ihre concave Form hat alſo mit der meines Profiles nichts gemein. Das einzige, mir bekannte Beiſpiel, das anſcheinend einen gleichen Zweck hat, iſt die weit auslaufende concave Böſchung des Hafendammes zu Bamff in Schottland, wovon ich, ebenfalls nach Karl Dupin, Fig. 49, einen Durchſchnitt gebe. Doch zeigt die außerordentlich gedehnte Form dieſes Profiles, daß hier nur das Syſtem der flachen Böſchungen und der Vortheil des gewölbartigen Steinſchnittes für die Verkleidung verbunden worden ſind, und daß bei dem Entwurfe desſelben eine Bekanntſchaft mit den Grundwellen nicht vorausgeſetzt werden kann, weil man ſonſt ohne Noth wohl nicht eine ſo bedeutende Ausdehnung des Ganzen angeordnet hätte.

259. Endlich mache ich noch aufmerkſam darauf, daß es zwiſchen meinem concaven Profile und jenem der Molo's, von welchen Bernardin de Saint-Pierre in ſeinen Wer-

---

*) Voyage dans la Grand-Brétagne par M. Charles Dupin. Force navale, foroe commerciale.

ken Erwähnung thut, keine Aehnlichkeit gibt. Dieſe Molo's bildeten, ſtatt einer Böſchung, eine lange concave Fläche, auf welcher ſich die Wellen des Amazonen-Fluſſes ſanft brechen konnten. Dieſe Beſchreibung deutet auf eine Aehnlichkeit mit dem Damme von Bamff hin, nicht aber auf eine mit meinem Profile; denn bei meinen concaven Mauern iſt die Krümmung, anſtatt ſich in die Länge zu ziehen, im Gegentheile ſo kurz als möglich, um die Breite der Fundamente und die Maſſe des Mauerwerks zu verringern; übrigens iſt ihr Zweck auch nicht, die Wellen ſanft brechen zu machen, ſondern die Grundwellen aufzunehmen, und ihre ganze Kraft zu ihrer eigenen Zerſtörung anzuwenden.

260. Die Idee, den Verkleidungen der Mauern ein concaves Profil zu geben, iſt nicht neu; es beſtehen Beiſpiele davon bei antiken, ſogenannten cyclopiſchen Bauwerken, und eben ſowohl bei Conſtructionen aus neuerer Zeit. Man könnte demnach ſagen, daß es bei der Erfindung meines concaven Profiles nichts Neues gäbe; das Neue dabei iſt aber die Anwendung der Concavität zur Aufnahme und Zerſtörung der Grundwellen, die an und für ſich eine neue Entdeckung ſind.

Neuntes Kapitel.

Herſtellung der Ruhe in den Häfen.

261. Um die Wellen zurück zu halten und Ruhe herzuſtellen, hat man ſeit den älteſten Zeiten Molo's oder Dämme erbaut, deren Kronen ſich über die Oberfläche des Meeres erheben. Die meiſten ſind mit verlornen Steinen ausgeführt, und die Alten haben, um die nothwendige Stabilität dieſer Art von Bauwerken zu erlangen, hierzu nur lauter ſo große Felſenſtücke verwendet, daß dieſe von den heftigſten Stürmen nicht bewegt werden konnten. Vitruv belehrt uns, daß man,

in Ermanglung natürlicher Blöcke von hinreichendem Volumen, ſolche aus künſtlichen Steinen herſtellte. Oberhalb des Waſſers, auf einer hinreichend mit Sand belegten Platform, verfertigte man aus Mauerwerk große Körper, und ließ ſie beiläufig zwei Monate austrocknen; indem man dann den Sand der Platform nach einer Seite ablaufen ließ, ſtürzten die Blöcke ins Meer.

262. Die neueſten Bauwerke mit verlornen Steinen ſind: der Damm von Cherbourg und der Wellenbrecher (breakwater) von Plymouth *).

Die, bei Herſtellung des erſten, befolgten Syſteme geben Veranlaſſung zu nützlichen Bemerkungen über die Wirkung der Grundwellen auf ſolche Bauwerke, und werden mich veranlaſſen, die Mittel anzugeben, welche, wie ich glaube, allein geeignet ſind, das wichtige Problem ihrer Standfähigkeit zu löſen.

263. Als man wünſchte, auf der Rhede von Cherbourg Ruhe herzuſtellen, ſchlug Herr de la Bretonniére, damals Marine-Kommandant, einen über die Meeresoberfläche nicht hervorſtehenden Damm aus verlornen Steinen vor, der, wie die natürlichen Untiefen, die Schwingungen des bewegten Meeres brechen, und die Wellen, ſich auf der Rhede fortzupflanzen, verhindern ſollte. Es zeigte ſich jedoch eine große Schwierigkeit, weil es ſich darum handelte, die Standfähigkeit dieſer Steinſchüttung zu ſichern. Herr de la Bretonniére wollte deßwegen, um gleichſam einen Kern für den Damm zu bilden, mit Steinen gefüllte Schiffe verſenken **). Der For-

*) Die Vergleichung dieſer beiden Dämme macht den Gegenſtand eines, vom General-Inſpekteur des Straßen- und Brückenbaues, Herrn Cachin, im Jahre 1820 herausgegebenen Memoires aus.

**) Suetonius berichtet, daß jenes Schiff, deſſen man ſich dazu bediente, den großen Obelisk aus Egypten nach Rom zu brin-

tifikations=Direkteur, Herr de Caux, proponirte, den Damm an eine, auf der inneren Seite ununterbrochen herzuſtellende

gen, mit Mauerwerk angefüllt, und an der Stelle, wo Kaiſer Claudius am Eingange zum Hafen von Oſtia den Molo bauen ließ, verſenkt worden ſei. Ein ähnliches Verfahren wiederholte man bei den Belagerungen, welche La Rochelle unter Carl IX. und XIII. auszuhalten hatte, um die Verbindung der Belagerten mit dem Meere zu verhindern.

Am 4. Februar 1573 verſenkte man, auf Kanonenſchußweite von der Stadt entfernt, im Kanale eine Caraque von 800 Tonnen, d. i. eines der größten Schiffe jener Zeit. Sie wurde mit Sand und Erde angefüllt, und man errichtete darüber eine Batterie; auch wurden rechts und links von dieſer Art von Fort viele Schiffe verſchiedener Größe, welche mit ſchwimmenden Maſtbäumen und Ketten verbunden waren, verſenkt, um die Bucht, von einer vorſpringenden Spitze zur andern, unfahrbar zu machen *). Noch viel größere Anſtrengungen wurden bei Erbauung eines Dammes während der zweiten Belagerung gemacht; der Damm von Cherbourg gab im Jahre 1787 Veranlaſſung, hierüber manche Unterſuchungen anzuſtellen.

Im Jahre 1628 hatte die Bucht von Rochelle dort, wo der Damm ſtand, eine Breite von 740 Klaftern. Die Arbeit wurde zu gleicher Zeit an beiden Ufern, auf eine Entfernung von 740 Klaftern vom Platze, begonnen. Anfänglich bediente man ſich des Mauerwerks, verkleidete die Gründung mit großen Quaderblöcken, und führte das Innere mit Bruchſteinen, ohne Mörtel, aus. So lange im Trockenen gearbeitet werden konnte, ergaben ſich keine großen Schwierigkeiten; man hatte nur dafür zu ſorgen, daß es nicht an Material mangelte; die Quadern wurden zur See von Saintonge herbeigeſchafft, und die Bruchſteine an den nahen Küſten gewonnen. Als das Meer und der ſchlammige Grund nicht mehr auf dieſe Art zu arbeiten erlaubten, wendete man Pfähle an; hernach verſenkte man, mit

*) Histoire de la Rochelle de 1179 à 1575 par Amos Barbot. Manuscrit de la bibliothèque du Roi et celle de la ville de la Rochelle.

Linie aus, mit Mauerwerk gefüllten Senkſchiffen (bateaux-caisses) anzulehnen. Die Fig. 50 gibt ein Profil dieſes Pro-

Steinen gefüllte, Gabarren, dann kleinere Schiffe, endlich an der tiefſten Stelle 50 große, mit Mauerwerk angefüllte Schiffe, um als Fundament zu dienen. Dieß Verſenken der Schiffe geſchah ſehr regelmäßig, ſo, daß eins neben dem andern, und in der gehörigen Dammrichtung zu liegen kam, aber ein Sturm am 5. Februar 1628, ungefähr vier Monate nach Beginn der Arbeiten, war ſo heftig, daß die großen Schiffe, obgleich ſie bis zum Verdeck mit Mauerwerk angefüllt, und bereits gleichſam in den Schlamm vergraben waren, von der Stelle gerückt und nach allen Richtungen durch einander geworfen wurden. Dieſe, von einem Augenzeugen, Herrn Mervault *), erzählte Thatſache beweiſt, welche Kraft die Grundwellen, ſelbſt in der Bai von La Rochelle, haben. Die Zwiſchenmauern der auf dieſe Art in Unordnung gebrachten Schiffe wurden mit Steinen verworfen, um bis zum Niveau des niedrigen Meeres eine Steinſchüttung zu bilden, auf welcher der Damm, ungefähr nach dem Profile der gewöhnlichen Dämme aus Zimmerwerk, weiter erhöhet wurde. Das Holzgerippe wurde mit Bruchſteinen ausgefüllt — die Krone lag nur 5 bis 6 Fuß über dem hohen Meere, welches in der Bai von La Rochelle auf 12 bis 15 Fuß ſteigt. Man hatte, dem Kanale entſprechend, eine Durchfahrt von 40 Klaftern Breite ausgeſpart, dieſe blos durch eine Eſtacade geſchloſſen, und durch eine Art von Sägewerk, das aus kleinen, ſchwimmenden und an einander befeſtigten Schiffen gebildet war, beſchützen laſſen.

Obgleich bei dieſem großen Baue in keiner Art geknauſert wurde, ſo hat er doch nur ſo lange gedauert, um gerade ſeinen Zweck zu erfüllen. Durch Stürme hatte er mehrmals hinter einander ſchon bedeutende Beſchädigungen erlitten; endlich wurde er am 8. November 1628, neun Tage nach der Uebergabe des Platzes, bei außerordentlich erregtem Meere, zerſtört.

Ein ganzes Jahr hindurch arbeitete man an dieſem Damme;

*) Journal des choses les plus mémorables du siège de la Rochelle par Mervault, rochellois. Rouen 1671.

jectes. Jeder ſchiffsartige Kaſten A ſollte 85 Fuß Länge erhalten, und bis zum Niveau des niedrigen Meeres reichen; er koſtete 5 Millionen Franks, und galt für ein achtes Weltwunder. Er wurde unter der Direction des k. Ingenieur-Hauptmanns Tirriot, und des k. Architekten, Herrn von Metezeau, ausgeführt. Der Letztere galt als deſſen eigentlicher Erfinder, wenigſtens hatte er alle Ehre davon; ſein Portrait wurde geſtochen, und mit lateiniſchen Verſen, worin er mit Archimedes verglichen war, ausgeſtattet. Der Damm erhielt aber den Namen des Kardinals Richelieu, weil dieſer die Belagerungs-Armee kommandirte. Beim Dammbaue waren ſonſt noch angeſtellt: David und Pompejus Targon, und auch der k. Ingenieur Pleſſis; ſie bauten überdieß die Eſtacaden und andere Werke zur Vertheidigung *).

Die noch beſtehenden Gründungen werden einige Jahrhunderte hindurch Zeugenſchaft von dieſer ganz beſonderen Unternehmung geben. Sie bilden zwei, an die Küſten der Bucht ſich anſchließende Bänke, und ſind am Ufer viel höher, als an dem ſehr erweiterten Durchgange vom Kanale aus. Bei einer ſtarken Ebbe werden ſie faſt gänzlich ſichtbar. Man findet dann einiges zu den unterſten Theilen gebrauchtes Holzwerk, und namentlich einige Reſte von großen, mit Mauerwerk angefüllten und verſenkten Schiffen, in deren Innerem man, als Binder und Läufer geordnete, Quaderſtücke an den Schiffswänden eine ordentliche Verkleidung bilden ſieht.

Man erbaut jetzt auf dem ſüdlichen Theile einen Molo von 270 Metres Länge, um die vor dem Lazareth in Quarantaine ſtehenden Schiffe zu beſchützen. Auch hat man das Projekt, dieſen Molo zu verlängern, und an der anderen Seite des Fahrwaſſers, bis an das entgegengeſetzte Ufer, einen gleichen herzuſtellen, damit ein Vorhafen gebildet werde. Der Körper dieſes Molo's beſteht aus einer Steinſchüttung, deren äußere Böſchung 2½füßig, und mit großen, nicht in Mörtel gelegten Quaderplatten belegt iſt. Der über dem höchſten Meere liegende

*) Histoire de la Rochelle par le père Arcère. (Divers manuscrits de la Bibliothèque de la ville de la Rochelle.) Histoire de la Rochelle par M. Dupont. 1829.

es wären für die ganze Länge und die Seiten des Dammes ungefähr 200 ſolcher Schiffe nöthig geweſen. Herr de Caux beabſichtigte, die Krone dieſes Dammes 4 Fuß über das höchſte Meer zu legen, und den ganzen, über der Steinſchüttung C angetragenen Theil B in Mauerwerk ausführen zu laſſen. Man ſchrie allenthalben über die Unkoſten, welche dieſe Konſtruktionsweiſe verurſachen müſſe, und entſchied ſich, verführt von der Beſonderheit und anſcheinenden Dekonomie des Ceſſart'ſchen Projektes mit koniſchen Käſten, nachdem man es mit einem ſolchen bereits verſucht hatte, dafür, die Schließung der Rhede mittelſt 90 Kegeln von 150 Fuß Durchmeſſer auszuführen.

Der Erfolg entſprach nicht den Erwartungen der Bewunderer dieſes Entwurfes, zu deſſen Gunſten lange nachher, als man bereits gezwungen war, ihn aufzugeben, ſein Erfinder noch immer vertheidigungsweiſe ſprach.

264. Man hatte die Meinung, daß das ſteigende, und von der weiten See hergetriebene Meer an den Kegeln gleichſam getheilt *), und hierdurch, wie alle Anhänger des Projektes glaubten, Ruhe auf der Rhede hergeſtellt werden müſſe.

---

obere Theil derſelben endigt mit einer kleinen Concavität, aus eben ſolchen Steinen gebildet. Die Wellen haben ſchon einige Beſchädigungen auf dieſer Böſchung angerichtet. Es wäre vielleicht zur vollkommenen Solidität dieſes Bauwerkes zweckmäßig geweſen, bei demſelben mein concaves Profil anzuwenden. Der Bogen hätte 5 bis 6 Metres Halbmeſſer bekommen, die Steinſchüttung des Dammes Richelieu iſt ſeit 200 Jahren feſt genug geworden, um den erſten Gewölbſteinen ein ſicheres Auflager zu geben, und es wäre wahrſcheinlich, ſelbſt wenn man die Verkleidung in Mörtel und Cement gelegt hätte, die Dekonomie eben ſo berückſichtiget, als vorzüglich eine vollkommene Widerſtandsfähigkeit gegen den Anſchlag des Meeres, das heißt, gegen die Grundwellen erlangt worden.

*) M. de Cessart t. 2. p. 178.

Wenn man die Sache mit einiger Aufmerkſamkeit unterſucht hätte, ſo würde man erkannt haben, daß es ſich nicht darum handelte, das andringende Meer zu theilen, ſondern, daß es nöthig war, bei jedem Meeresſtande die Wellenbewegung zu zerſtören, was jedoch die Kegel nicht leiſten konnten, weil bei hoher See, im Momente wo die Erregung am heftigſten iſt, die mit ihren Baſen an einander geſtellten Kegel zwiſchen ihren Köpfen ſo breite Durchgänge laſſen, daß dieſe ſich zu den Kegeldurchmeſſern wie 3 zu 2 verhalten. Wenn die Wellen auch getheilt würden, ſo werden ſie doch nicht zerſtört, und nur ein wenig zuſammengedrückt; ſie behalten, wegen der abgerundeten Geſtalt der Kegel, nachdem ſie bei ihnen vorübergegangen ſind, noch Stärke genug, um den vor Anker liegenden Schiffen läſtig zu fallen. Die koniſchen Oberflächen ſind ſchlechterdings nicht geeignet, auch nur einen Theil der Undulation aufzuheben, und die Reſültanten der zurückgeworfenen und directen Wellenſchwingungen ſind immer gegen das Innere der Rhede gerichtet, ſo daß dort ungefähr dieſelbe Erregung hervorgebracht werden muß, wie außerhalb, und man demnach vorherſehen konnte, daß im Hafen die gewünſchte Ruhe ſich nicht ergeben werde.

Man hat die Wirkſamkeit der an einander gereihten Kegel mit jenen verglichen, welche ſich bei den unterbrochenen Fortſetzungen (claire voie) der Kanaldämme ergeben; doch mit Unrecht. Dieſe Anordnung ſchwächt die Wellen nur deßwegen, weil ſie ihnen ſeitwärts weite Oeffnungen darbietet, in welchen ſie ſich ausbreiten und verlaufen können. Setzt man ſie der Richtung der Wellen perpendikulär entgegen, ſo theilen ſie ſie zwar, verringern aber ihre Bewegung um faſt gar nichts.

265. Anſtatt nach dem unglücklichen Ausgange der erſten Verſuche von den Kegeln ganz abzugehen, entſchloß man ſich, in Folge unbegreiflicher Urtheile, dazu, ſie immer mehr und mehr von einander zu entfernen, und nur als nothwendige Stützpunkte für einen, aus verlornen Steinen zu erbauenden

Damm zu betrachten. Dieſer Irrthum koſtete 18 Kegel, welche nach und nach in Entfernungen von 50 bis 200 Klaftern zum Stranden gebracht worden ſind.

Man wurde alſo dahin gebracht, den Damm durch eine Steinſchüttung herzuſtellen; dieſe allein iſt geblieben, die Kegel aber ſind gänzlich verſchwunden. Auch hat man, in Folge einer erſtaunungswürdigen Vergeſſenheit der Grundſätze der Kunſt und der bewunderungswürdigen Beiſpiele der Alten, anſtatt den Damm aus großen, unbeweglich liegen bleibenden Blöcken herzuſtellen, ihn ganz mit Steinen von $1/5$ Kubikfuß zu bauen fortgeſetzt. Solche Steine konnten nur in den koniſchen Käſten, wo ſie ſich geſchützt befanden, anwendbar ſein.

266. Der Damm war anfänglich 3 bis 4 Fuß über das niedrigſte Meer erhoben. Die im Jahre 1792 zur Berichterſtattung über die Bauten von Cherbourg beauftragte Kommiſſion war der Meinung, daß man eine Standfähigkeit der aus kleinen Steinen gemachten Schüttung nur dadurch erlangen könne, wenn man ſie mit großen und ſchweren Blöcken bedecke, und dieſe ſo mit einander verbände, daß das Meer ſie nicht bewegen könne. Man glaubte, daß Blöcke von 15 bis 20 Kubikfuß Volumen, mit denen man einen Theil des Dammes bedeckt hatte, nicht von der Stelle gerückt worden wären, und betrachtete ſie lange Zeit, obgleich der Sturm vom 17. zum 20. Februar 1792 einige davon umhergeſchleudert, und auf die Südſeite geworfen hatte, als hinreichend groß, um nicht bewegt werden zu können. Zehn Jahre darnach hielt man dafür, daß das Volumen und die zur Stabilität nothwendige Schwere bei Weitem größer ſein müſſe, und verwendete, bei Entfernung der mittleren Batterie, Blöcke von 60 bis 80 Kubikfuß (beiläufig $1/3$ Kubikklafter). Nach ſo bedeutenden Auslagen für die Gewinnung dieſer Blöcke, ihre Zufuhr bis an die Küſte, ihre Einſchiffung, ihren Transport, für ihr Einwerfen in das Meer, und für die mühſame Arbeit ihrer

Aneinanderordnung auf dem Damme, überredete man ſich, ungeachtet der durch die Stürme vom 18. Februar und 19. Mai 1807 gegebenen Andeutungen doch, daß man die Wellen bezwungen habe. Der Sturm vom 12. Februar 1808 warf indeſſen die ganze Arbeit über den Haufen.

Die anſcheinende Ordnung jedoch, welche ſich bei der Lage der, auf einem Punkte aufgehäuften, Stein-Parallelepipeden ergeben hatte, veranlaßte den Schluß, daß dieſer ſeit Menſchengedenken noch nie ſo heftig vorgekommene Sturm das Bauwerk völlig befeſtiget habe, weil künftig eine Verrückung des Materials nicht gedenkbar ſei. Das auf den Steinen bald darauf hie und da wachſende Seegras wurde als ein unbeſtreitbarer Beweis einer vollkommenen und unerſchütterlichen Stabilität angeſehen. Spätere Stürme haben auch dieſe Materialien aus einander geworfen.

267. Die ganze Oberfläche des Dammes wurde zu verſchiedenen Zeiten mit Steinen überſchüttet, um die vom Meere verurſachten Veränderungen des Profiles zu conſtatiren, und das Profil der größten Stabilität kennen zu lernen. Alles, was man aus der Vergleichung der Statt gefundenen Veränderungen unter ſich, und mit jenen an den natürlichen Ufern ableiten konnte, war die allgemeine Form, welche das Meer einer, ſeiner Wirkung ausgeſetzten, Steinmaſſe zu geben pflegt. Aber dieſe Form iſt in ihrer Ausdehnung, Lage und in der Neigung ihrer Fläche, nach Maßgabe der Heftigkeit, der Dauer und Richtung der Wellen veränderlich; ſie wechſelt auch nach Beſchaffenheit des Volumens und der Schwere der Materialien, und die Kunſt iſt in dieſer Beziehung gewiß noch weit hinter der Erfahrung der Alten zurückgeblieben; weil man, nach 50jährigem Studium und eben ſo langer Erfahrung, noch heut zu Tage das Mittel ſucht, um dem Materiale des Dammes von Cherbourg eine ſolche Standhaftigkeit zu geben, daß für die Zukunft jede Beſorgniß verſchwinden könne.

268. Herr Cachin zog aus ſeinen Beobachtungen über die Veränderungen des Dammprofiles, über die Bewegung der Materialien von außen nach innen, und über die Wirkungen der verſchiedenen Stürme, die Schlußfolge, daß, wenn auch der Menſch Kraft genug habe, eine Steinmaſſe mitten im Meere aufzuhäufen, doch nur die Wirkung der Wellen eine ſolche Anordnung derſelben hervorbringen könne, welche eine dauernde Standhaftigkeit verbürge, und man dürfe ſich daher nur darauf beſchränken, eine hinlängliche Menge Material in das Meer zu werfen, dieſem die Sorge für die gehörige Legung zu überlaſſen, und endlich die Maſſe, wenn man vorausſetzen kann, daß ſie bereits die bleibende Form angenommen habe, mit großen Blöcken zu verkleiden.

Nach dieſer Verfahrungsweiſe würde man eigentlich den Wellen gehorchen, anſtatt ſie zu bemeiſtern, und man wäre gezwungen, dem Meere alles nöthige Material, eben ſowohl zur Herſtellung der durch ſeine Wirkung beſtimmten Formen, als zum Zerſtören zu liefern. Eine ungeheuere Menge wahrhaft verlorener Steine müßte verſenkt werden, und die beiſammen bleibende Maſſe hätte mehr Aehnlichkeit mit einer Inſel, als mit einem Damme. Ein ſolches Reſultat wäre ſehr verſchieden von jenem, welches die Alten bei den Dämmen von Malaga, von Caſtellamare und zu Athen erlangten. Dieſe ſeit einer Reihe von Jahrhunderten beſtehenden Bauten hat man als vorzügliche Beiſpiele von Konſtruktionen mit verloren Steinen zwar citirt *), aber nicht nachgeahmt **).

*) M. de Cessart. tom. 2. p. 332.

**) Es könnten auch noch andere Bauten dieſer Art angeführt werden: der Molo von Samos mit einer Höhe von 110 Fuß, und einer Länge von 945 Fuß, deſſen Ueberreſte man noch jetzt ſieht; der Damm von Chalois, welcher den Euripus abſchloß, und das Heptaſtadium von Alexandrien. Was den Damm, durch welchen Xerxes die Inſel Salamis, jetzt Colouri, mit dem Feſt-

Es iſt wahr, daß dieſe Dämme ſich in anderen Lagen befinden, als der Damm von Cherbourg und der Wellenbrecher von Plymouth. Sie ſind mit dem Lande verbunden, und ſtellen den Wogen blos die Köpfe entgegen, während die zwei neueren Dämme, beiläufig ſo, wie die Dämme in der Bai von St. Jean de Luz, ſich ihnen parallel entgegenſetzen. Doch dieß wäre ja ein Grund mehr, ſich keiner geringeren Mittel, als jener, die die Alten bei ihren Bauwerken anwendeten, zu bedienen. Man hätte viel ſtärkere Bauweiſen aufſuchen ſollen, weil es ſich darum handelte, in einer ſolchen Lage Widerſtand zu leiſten, wo das Meer bei Weitem furchtbarer iſt.

269. Man hat die an dem Körper des Dammes von Cherbourg, und am Wellenbrecher von Plymouth bemerkten Veränderungen ſtets dem Anſtoße der Wellen *) bei ſteigendem und fallendem Meere zugeſchrieben, und deßwegen auch das Problem, die Standhaftigkeit dieſer beiden Konſtruktionen zu erzielen, noch nicht zu löſen vermocht. Jetzt kann nicht wohl noch ein Zweifel Statt finden, daß alle Wirkungen des Meeres auf dieſe Dämme, ſo wie auf die Ufer und die verſchiedenen Sandanhäufungen nur von den unter den Wellen fortſchreitenden Grundwellen herrühren. Sobald dieſe gegen eine bedeutende Bank aus beweglichem Materiale anlaufen, ſo ſtoßen ſie es vor ſich hin, und bilden daraus die möglichſt ſteilſte Böſchung, an welcher ſich eben dieſe Grundwellen erheben; ſind ſie, getrieben von der obern Undulation, über der

---

lande verband, und das noch zur Zeit des Strabo beſtehende Tetraſtadium, wodurch Alexander Tyrus mit der Küſte vereinigte, anlangt, ſo iſt wohl anzunehmen, daß man dieſen Bauten nur eine ſolche Sorgfalt geſchenkt habe, wie ſie den für vorübergehende militäriſche Zwecke hergeſtellten Werken zukommen mag.

*) Memoire des Herrn Cachin.

Bank angelangt, ſo ſchreiten ſie darüber hinweg, und erhöhen ſie, unter einem ſehr ſanften Abfalle, weil ſie beim Vorwärtsgehen allmählig ſchwächer werden. Sie bilden auch die innere Böſchung, indem ſie das mitgeriſſene Material dort fallen laſſen, welches, ſeiner eigenen Schwere überlaſſen, ſich nach der natürlichen Böſchung von beiläufig 45 Graden ordnet.

Wenn das Material in hinreichender Menge ins Meer geworfen worden iſt, ſo wird die innere Böſchung ſtets wieder überdeckt; ſie nähert ſich, ohne ihre Neigung gegen den Horizont zu verändern, dem Innern der Rhede, und das Ueberwerfen des Materiales auf dieſe Böſchung hört nicht eher auf, als bis der Damm, bei gehöriger Breite, über das Niveau des hohen Meeres ſich erhöht haben wird. Es iſt einleuchtend, daß die Erhöhung um ſo ſchneller vor ſich gehen werde, je weniger beweglich die Materialien ſind; denn die Steilheit der oberen Böſchungen hängt von der Schwächung der Grundwellen auf dem zurückgelegten Wege, und von dem Widerſtande der Materialien, die ſie zu bewegen haben, ab. Je ſchwerer das Material iſt, deſto weniger weit kann es fortgeſtoßen werden; dieſe Böſchungen müſſen alſo an der innern Seite der Krone ſteiler, als an der Seeſeite werden, ſich mehr und mehr erhöhen, und endlich das Niveau des hohen Meeres überſchreiten. Die Steinſchüttung iſt dann gerade in einer ſolchen Lage, wie jeder Strand; die auslaufenden Grundwellen bilden auf dem höchſten Theile desſelben, aus dem bis dahin mitgeführten Material, ein langes Hügelchen.

Um dieſes Reſultat ſchneller herbeizuführen, ließ Herr Cachin auf der Krone des mittleren Theiles vom Damme zu Cherbourg aus großen Blöcken eine Erhöhung machen; doch nur die Beobachtung, daß das Material von Norden nach Süden getragen werde, hat dieſe Anordnung veranlaßt. Es wäre auch noch nöthig geweſen, daß die Steinſchüttung ſchon eine hinreichende Breite gehabt, und der künſtliche Strand,

wenn auch ſehr ſteil, ſich doch bereits zu bilden begonnen hätte, denn ſonſt würde man der Bewegung der Materialien fruchtlos ein Hinderniß entgegengeſetzt haben, das unfehlbar von dem Stoße der gewöhnlichen Grundwellen über den Haufen geworfen worden wäre. Eben weil die Breite dieſes künſtlichen Strandes unzureichend, und die Böſchung zu ſteil war, wurde das ganze Bauwerk von den Grundwellen des heftigen Sturmes am 12. Februar zerſtört, und deßwegen traf auch ein gleiches Schickſal, jedesmal während der Stürme, alle ſeither ausgeführten Bauten.

270. Die innere Böſchung des Dammes kann niemals von den Grundwellen angegriffen werden, weil der Meeresgrund vom Ufer gegen die See hin fällt, und ihr Entſtehen, ſowohl durch die von der Küſte zurückgeworfenen, als auch durch die von Landwinden erregten Wellen, auf dieſe Art unmöglich iſt. Dieſe Böſchung könnte alſo nicht anders, als durch die Strömungen der Ebbe und Flut auf der Rhede zerſtört werden; aber dieſe Strömungen ſind bei Weitem weniger kräftig, als die Grundwellen.

271. Wenn die Menge der Materialien nicht hinreicht, die Steinſchüttung über das Niveau des hohen Meeres zu erhöhen, ſo bringt die Wirkung der Grundwellen nur eine Erniedrigung der Steinmaſſe hervor. Der Damm von Cherbourg iſt im Jahre 1784 um 3 bis 4 Fuß höher, als das niedrige Meer hergeſtellt geweſen; im Jahre 1802 fand man ihn um 12 bis 15 Fuß niedriger *). Man hat lange Zeit geglaubt, daß dieß eine Wirkung der Setzung ſei, heut zu Tage iſt es aber keinem Zweifel unterworfen, daß der größere Theil dieſer bedeutenden Erniedrigung nur von den Grundwellen herrühre, welche die Krone des Dammes gleichſam abgekehrt und die Steine auf die innere, der Küſte ſich nähernde Bö-

*) Memoire des Herrn Cachin, p. 20.

ſchung, deren Gräthe ſich wegen Mangel an Material nicht erhöhen konnte, geworfen haben. Dieſe Erniedrigung kann um ſo ſchneller Statt finden, je beweglicher bei kleinem Volumen die Steine ſind. Es wäre in der Länge der Zeit ſelbſt möglich, daß die Grundwellen alles Material gänzlich zerſtreuen und an das Ufer führen könnten, ſo wie überhaupt Geſchiebe — zur Bildung der Hafenverſandungen — landwärts getragen werden.

272. Nach einer allgemein angenommenen Meinung wirken die Wellen bei ihrem Herabfallen weit ſtärker auf die Steinſchüttungen, als bei ihrem Emporſteigen. Die abwärts wirkende Schwere, ſagt man, hilft die Steine fortreißen *). Dieſe Erklärung iſt jedoch nicht richtig. Die über dem Niveau des niedrigen Meeres bei Steinſchüttungen und Abpflaſterungen vorkommenden Beſchädigungen haben zu dieſer Meinung Veranlaſſung gegeben; doch rühren dieſe Beſchädigungen keineswegs von der unmittelbaren Wirkung der Wellen auf die Steine her. Das Waſſer der Grund- und gewöhnlichen Wellen erfüllt, indem dieſe an den Bauwerken über den Meeresſpiegel ſich erheben, alle inneren Zwiſchenräume der Steine; ſobald die Wellen wieder herabfallen, ſchießt das Waſſer mit großer Geſchwindigkeit hervor, und ſtößt die Theile der ohnehin nicht zu feſt gehaltenen Verkleidung nach außen. Eine ſolche Wirkung kann bei Steinſchüttungen und Abpflaſterungen, die ſtets unter dem Waſſer bleiben, nicht Statt finden, die Beſchädigungen derſelben rühren dann immer nur von den Grundwellen her.

273. Die Kommiſſion vom Jahre 1792 ſprach die Meinung aus, daß man auf der Rhede von Cherbourg eine genügliche Ruhe erhalten werde, wenn der im Jahre 1784 erbaute Damm auf 15 Fuß über das Niveau des niedrigen

*) Bericht der Kommiſſion von 1792. Art. 50.

Meeres erhöhet würde; dieß wäre bis zur Höhe der gewöhnlichen hohen See, oder 7 Fuß unter dem Niveau des aufgeregten hohen Meeres. Eine vollkommene Ruhe könne jedoch nur erlangt werden, wenn man die Erhöhung bis auf 9 Fuß über das Niveau der höchſten Fluten bewerkſtelligte.

274. Die erſte dieſer beiden Höhen wurde als ein Minimum nach der Beobachtung feſtgeſetzt, daß, wenn das Meer durch die Seewinde bewegt iſt und eine Höhe von 14,5 Fuß über ſeinem niedrigen Stande erreicht, die Wellen den auf der Rhede vor Anker liegenden Schiffen, zwei Stunden vor und zwei Stunden nach dem eben angegebenen Waſſerſtande, läſtig zu fallen beginnen und aufhören *).

Dürfte man ſich alſo damit begnügen, nur für die großen Schiffe eine hinlängliche Ruhe zu erhalten, ſo reicht es hin, den Damm 7,5 Fuß über dieſes Niveau zu erhöhen, damit ſich beim höchſten Meeresſtande nur 14,5 Fuß Waſſer darüber befinde. Dann aber kann mit Schaluppen nicht mehr gefahren werden, und es iſt alſo bei dieſer Höhe auf der Rhede eigentlich keine genügliche Ruhe erzielt worden.

Die Kommiſſion hat öfters bemerkt, daß die Aufregung des Meeres, obgleich das Waſſer nur die Hälfte ſeiner höchſten Steigung, d. i. 11 Fuß über dem niedrigen Meere, erreicht hatte, ſchon ſehr bedeutend war, und ſchloß, daß eine für den Dienſt der Schaluppen erforderliche Ruhe nur dann Statt finde, wenn das Waſſer nur 7 Fuß hoch über dem Damme ſtehe, und daß alſo die Krone bis auf 7 Fuß über das Niveau der höchſten Fluten erhöht werden müſſe, um bei hoher See Ruhe zu erzielen. Dieß macht eine Erhöhung von 15 Fuß über dem niedrigſten Meere, und die Krone fällt in das Niveau der ruhigen hohen See.

*) Der Bericht der Kommiſſion und das Memoire des Herrn Cachin.

275. Wenn man den Damm bis über das höchſte aufgeregte Meer hätte erhöhen wollen, ſo wäre auf der Rhede allerdings eine vollkommene Ruhe eingetreten; doch erkannte man ſchon vorläufig, daß auf dieſe Art mehr gethan würde, als nöthig iſt.

Das Maß der Erhöhung wurde auf 9 Fuß beſtimmt, weil in dieſen Seegegenden bei den größten Wogen der Niveau-Unterſchied der Wellengipfel und Wellenthäler nicht größer, als 14 Fuß beobachtet worden iſt. Da man glaubte, daß die Höhe des Wellenberges der Tiefe des Wellenthales gleich ſei, was jedoch nicht der Fall iſt (27), ſo ſchloß man, daß für Wellen von 14 Fuß Höhe die Erhöhung des Wellenberges, über das Niveau des ruhigen hohen Meeres, 7 Fuß betragen werde, und glaubte, daß eine Zugabe von noch 2 Fuß zur Erreichung des Zweckes nöthig ſei. *)

276. Dieſe zwei Anträge der Kommiſſion von 1792 geben mir Gelegenheit, bemerklich zu machen, wie die Theorie der Grundwellen die von der Kommiſſion beobachteten Thatſachen erkläre, und wie die Grundwellen benützt werden können, um eine vollkommene Ruhe herzuſtellen.

Die Angabe von zweierlei Erhöhungen beweiſet, daß die Ruhe auf der Rhede auch durch zwei Mittel erreichbar ſei: durch einen ſtets unter dem Waſſer bleibenden Damm, der eine künſtliche Untiefe bildet, oder durch die völlige Unterbrechung der von der See herkommenden Wellenbewegung, indem man den Damm über die Oberfläche des hohen Meeres erhebt.

277. Unter gewiſſen Umſtänden könnte das Letzte durch die Nothwendigkeit einer trockenen Kommunikation, oder weil man einige Punkte der Rhede den Winden, oder der Einſicht

---

*) Belidor gibt für die Erhöhung der Dämme über das Niveau des Meeres dieſelbe Größe an. **Architecture hydraulique II. partie, t. 2. l. 3. chap. 6.**

von außen her entziehen will, motivirt werden. Ich kann aber die Nothwendigkeit, die vom Meere geſtoßenen Materialien aufzuhalten, nicht auch als einen Grund anſehen, den Damm bis über das Niveau des höchſten bewegten Meeres zu erhöhen, weil eine Umgehung der Schwierigkeit keine eigentliche Auflöſung der Aufgabe iſt. Wenn es ſich nur um die Herſtellung der Ruhe handelt, ſo würde ſchon ein ſtets unter Waſſer bleibender Damm dem Zwecke entſprechen. Dieß war der Fall bei dem Damme von Cherbourg; ſo dachten auch die Seeleute, und der vom Herrn de la Bretonniére vorgeſchlagene Damm war ebenfalls von dieſer Art. Zu jener Zeit hatte man noch keine Kenntniß von den Grundwellen; man kannte zwar unfern von den Ufern eine Bewegung des Waſſers am Meeresgrunde, aber man glaubte ſie unabhängig von den Wellen, und hielt ſie für beſondere Strömungen in der Tiefe *); auch das Brechen der Wellen ſah man blos als eine Folge der oberflächlichen Bewegung an. Man war damals weit entfernt, zu vermuthen, daß das Eine und das Andere den von mir mit dem Namen der Grundwellen (91) bezeichneten Waſſermaſſen zugeſchrieben werden müſſe. Aus dieſer Urſache konnte das Projekt des Herrn de la Bretonniére, ſowohl in Beziehung auf den beabſichtigten Zweck, als in Betreff der Standhaftigkeit der Materialien, nicht anders, als unvollkommen ſein. Es iſt darum nöthig, vorläufig zu unterſuchen, warum der Damm von 1784, welcher ſtets unter Waſſer blieb und zu niedrig war, um auf der Rhede beſtändige Ruhe zu erhalten, bei gewiſſem Meeresſtande ſogar ſchädlich wurde, indem die Wellen die, bis auf 200 Klafter Entfernung davon vor Anker liegenden, Schiffe ſehr beläſtigten **).

---

*) Herr von Ceſſart, t. 2. p. 174.

**) Bericht der Kommiſſion vom Jahre 1792, Art. 63.

278. Es ſei u, x, y, z, Fig. 51, das Profil dieſes Dammes, ſo wie es vom Herrn Cachin angegeben wird *), PQ der Meeresgrund, OR das Niveau der höchſten Fluten, or jenes des niedrigen Meeres, o′r′ das Niveau auf 14,5 Fuß Höhe, auf welcher ſich das Meer zwei Stunden vor, und zwei Stunden nach ſeinem höchſten Stande befindet.

Es ſeien a′, b′, c′ die von einer oberflächlichen Wellenſchwingung a, b, c, herbeigeführten Grundwellen, wenn das Meer auf einer Höhe o″r″ ſteht, die geringer iſt, als jene von 14,5 Fuß. Man weiß nach der früher aufgeſtellten Theorie (91), daß die an der Böſchung z, y, ſo wie an jeder anderen Wand aufſteigenden Grundwellen c′, d′ zu gleicher Zeit die über ihnen befindlichen Wellen c, d erheben und brechen machen. Wenn dieſe Brechung vollſtändig iſt, ſo wird die Wellenſchwingung a, b, c, d auf der Oberfläche des Niveaus o″r″ gänzlich gehemmt, d. h. ſie kann ſich nicht über die Brechung d hinaus gegen die Rhede hin fortpflanzen, die Meeresoberfläche d′r′ bleibt ruhig und glatt, und ſo oft die Wellen auf dieſe Art oberhalb des Dammes ſich brechen, erfolgt bei jedem Meeresſtande daſſelbe Reſultat. Wenn aber das Meer die Höhe des Niveaus o′r′ erreicht, ſo können ſich die Grundwellen c′ d′, wegen der Schwere der über ihnen liegenden Waſſerſchicht, nicht hoch genug erheben, um die Wellen brechen zu machen. Daſſelbe findet bei allen Waſſerſtänden zwiſchen dem Niveau o′r′, und dem höchſten Meere OR Statt. Die Wellen A, B, C, D pflanzen ſich auf der Rhede in E, F, G, H nicht allein mit ihrer ganzen Stärke, ſondern ſelbſt mit einer viel größeren Heftigkeit fort, denn die von ihnen herbeigeführten Grundwellen werden zur Erſteigung der Böſchung zy gezwungen, können den Damm aber nicht überſchreiten, ohne jene zugleich auch zu erheben

*) Die Tafel 4 ſeines Memoire's.

und kürzer zu machen (108), wodurch ihre Geſchwindigkeit vermehrt wird. Die Lebhaftigkeit der Bahnbewegung der Waſſerelementchen wird noch durch eine andere Urſache vergrößert. Die an der Böſchung xy aufſteigenden Grundwellen c′, d′ ſetzen auf dem Damme ſelbſt mit jener Beſchleunigung, welche, wie oben geſagt wurde, von der höher gewordenen Wellenſchwingung herrührt, ihren Weg fort; indem ſie an den innern Rand des Dammes e′ gelangen, ſtürzen ſie ſich in das Waſſer der Rhede, um ſich dort zu zerſtreuen, zuvor aber übt jede, nach den Richtungen xt und xv, auf dieſe Waſſermaſſe noch eine Art von Stoß aus, wodurch nothwendiger Weiſe die Geſtalt der Bahnen der in Schwingung befindlichen Waſſerelementchen ſich verändert, und die Wellen F, G, H eine geneigte Lage (29) erhalten, die ſich auf der Rhede weithin fortpflanzt. Man darf übrigens nicht vergeſſen, daß die Wellen F, G, H auch noch durch die Rückwirkung des Grundes PQ oder uQ, oder vielmehr durch die Rückwirkung der beinahe ſtill ſtehenden Waſſermaſſe Quxq, höher und kürzer werden (98), und daß eben dieſes Stillſtehen des geſchützten, hinter dem Damme befindlichen Waſſers den Stoß nach den Richtungen xt und xv begünſtigt. In Folge aller dieſer Umſtände, und weil ſich der Anſtoß der Grundwellen hinter einander wiederholt, nehmen die über den Damm hinweggegangenen Wellen eine größere Kraft an, und wirken auf die vor Anker liegenden Schiffe heftiger, wenn das Meer ſich um mehr als 14,5 Fuß erhebet, oder noch nicht bis auf dieſen Stand gefallen iſt. Die Kommiſſion hat geglaubt, daß dieſe Wirkung durch die über den Damm dahin rollenden Wellen hervorgebracht werde; doch bewegen ſich ja die Wellen niemals wirklich, und die von den Schiffen, zwei Stunden vor, und eben ſo lange nach dem höchſten Meere verſpürten Unbequemlichkeiten rühren ganz allein von dem Zuſammentreffen der eben angezeigten Umſtände her.

Vorzüglich trägt hierzu die Aufeinanderfolge der Stöße bei, von welchen die Wellen, und die über dem Niveau qx liegende Waſſermaſſe, im Augenblicke der Ankunft einer jeden Grundwelle in e', getroffen werden.

§. 279. Die Höhe der im Jahre 1784 hergeſtellten Steinſchüttung, bevor ſie noch um 5 Metres erniedrigt wurde, genügte vollkommen, um bei ſtürmiſcher Zeit, ja ſelbſt wenn das Meer die höchſte Höhe erreicht hatte, die Wellen auf der ganzen Länge des Dammes gehörig zu brechen *). Damals beſtand alſo der Fehler bei dem Damme nicht ſo ſehr in ſeiner Höhe, als in der Beweglichkeit ſeiner Materialien, und in ſeinem Profile, welches den Grundwellen erlaubte, ohne die oberen Wellen zu brechen, denſelben zu überſchreiten, und wodurch ſie bei dem Uebergange ſogar eine ſchädliche Richtung erhielten.

Es iſt einleuchtend, daß durch eine Erhöhung desſelben Profiles das Uebel nur auf eine andere Stelle gerückt würde, ohne die erforderliche Ruhe allemal ſicher hervorzubringen; denn die eben beſprochene Wirkung träte alſobald wieder ein, wenn bei hohen Fluten die Erregung nicht ſtark genug iſt, um die Wellen über der vordern Böſchung zu brechen. Auf dieſe Art entſpräche ein ſo koſtſpieliges Verfahren nicht völlig dem Zwecke, und die noch viel theurere Erhöhung des Dammes über die höchſten Fluten überſchreitet ihn ohne Nutzen.

280. Und doch war es dieſe Höhe, ohne das Parapet mitzurechnen, auf welche Herr Cachin den Damm nach ſeiner ganzen Länge zu erhöhen vorſchlug **). Man kann es nach den ſeither beobachteten Wirkungen, und nach der Theorie

---

*) Bericht des Herrn Curt an die National-Verſammlung, dem zweiten Bande von Ceſſart's Description des travaux hydrauliques, beigedruckt.

**) Das ſchon angeführte Memoire.

der Grundwellen, als eine ausgemachte Sache annehmen, daß, wenn man den Vorſchriften dieſes Ingenieurs gefolgt, und noch ſo viele Steine in das Meer geworfen hätte, der Damm, bei allen Vorkehrungen, das Ueberwerfen der Steine zu verhindern, ſich doch nicht zu dem von ihm erwarteten Profile erhöht haben würde.

Um die beabſichtigte Dammhöhe zu erlangen, wäre man zur Bildung eines künſtlichen Strandes, mit der 8 oder 10fachen Höhe zur Anlage, und zur Herſtellung einer Kronenbreite von ziemlich 20 Metres gezwungen geweſen. Die Baſis eines ſolchen Dammes hätte nicht weniger als 250 Metres gebraucht, und 16 Millionen Kubik-Metres Bruchſteine wären für ſein Volumen kaum hinreichend geweſen.

Man kann ſich vorſtellen, welche Summen durch eine ſolche Steinſchüttung verſchlungen worden wären, und dennoch möchten die Koſten den minderen Anſtand dabei veranlaſſen: denn wenn man ſelbſt zugeben wollte, daß dieſer neue Strand zur Vollkommenheit gelangt wäre, ſo läßt ſich doch vorausſehen, daß die, nur von den Wellen geordneten, Materialien bei dem erſten Sturme nach allen Richtungen geworfen werden könnten, und daß ein großer Theil derſelben von den Oſt- und Weſtwinden in das Fahrwaſſer getrieben werden und es verlegen würde. Dieſe kurze Auseinanderſetzung möge genügen, um jedes Projekt eines künſtlichen Strandes als Löſung der dießfälligen Aufgabe zu beſeitigen. *)

*) Der Ingenieur Herr Noël ſchlug 1801 in ſeinem Memoire zur Herſtellung des Dammes von 1784 vor, die Breite der Baſis auf 128 Metres zu bringen, die Krone an der innern Böſchung 2 Metres über die höchſte Flut zu legen, und ihr 7 Metres Breite zu geben, davor einen ſanften Abhang, mit der 8fachen Höhe zur Anlage bis zum niedrigen Meere zu legen, und ſtatt der vorderen Böſchung ein converes, dieſen Abhang ohne Bruch fortſetzendes Stück einer Ellipſe, wodurch der Wirkung des Meeres ein beſſerer Widerſtand geleiſtet werden ſollte, anzubringen.

281. Die Ideen des Herrn Cachin ſind heut zu Tage größten Theils ſchon aufgegeben worden. Es iſt jetzt eine Kommiſſion damit beauftragt, über die Mittel zur Ausführung des Baues, nach neuerlich angenommenen Grundſätzen, die nicht veröffentlicht wurden, alſo auch wenig bekannt ſind, zu berathſchlagen.

282. Die vorliegenden Projekte weichen unter ſich nur in unwichtigen Details ab. Man will einen gemauerten Damm herſtellen, und ihn auf die Steinſchüttung vom Jahre 1784, welche man als vollkommen ſtandhaft betrachtet, ſetzen. Der mit einer ſo großen Unternehmung verbundene beträchtliche Aufwand, und das ungemeine Intereſſe des Landes, ſie mit Erfolg gekrönt zu ſehen, geboten eine gründliche Ueberlegung; man hat ſich in dieſer Beziehung an die fähigſten Ingenieurs gewendet. Ihr Wiſſen und ihre Erfahrung ſind geeignet, das größte Zutrauen einzuflößen.

Sie werden gewiß die beſten Mittel, bei der Ausführung die durchdachteſten Verfahrungsweiſen und die ſinnreichſten Maſchinen erwählen, und Alles wird vollkommen zum Ganzen geordnet ſein. Aber liegt denn in dieſen Details allein die Sicherheit des Erfolges? Wären nicht vielmehr in dem Prinzipe des Projektes die Mittel zum künftigen vollkommenen Beſtande aufzuſuchen? Es möchte wohl nicht genügen, die Beruhigung zu haben, daß man ein Werk ſelbſt mit großer Vollkommenheit ausführen könne, wenn man nicht zugleich die Gewißheit erlangt, mit ſo großen Unkoſten auch jene vollkommene Solidität zu erzielen, welche ſeit einem halben Jahrhundert ein Gegenſtand des Nachdenkens und erfolgloſer Verſuche geweſen iſt. Doch die Grundſätze, welche man jetzt angenommen zu haben ſcheint, ſind nicht von der Art, um mehr Beruhigung zu gewähren, als Alles, was bisher geſchehen iſt; man iſt zu ſehr für die alten Prinzipien und gewöhnlichen Methoden eingenommen, und entbehrt bei

Löſung des großen Problemes die Kenntniß der wahren Theorie der Wellen und Grundwellen, welche doch über Phänomene des Meeres ſo vielen Aufſchluß geben.

283. Die Fig. 54 ſtellt das, der Berathung unterworfene Profil dar; es iſt nach den Erkundigungen, die ich an Ort und Stelle einziehen konnte, entworfen. So wie es iſt, genügt es, um die vorzüglichſten Grundſätze des Entwurfes einer Unterſuchung zu unterziehen.

Die Steinſchüttung von 1784 ſoll mit kleinen Steinen ſo hoch überworfen werden *), daß ſie bis auf 1 Metre unter das Niveau des niedrigen Meeres erhöht, und ihre Breite gegen die Rhede hin ſo vergrößert wird, daß ſie das Profil abhcd erhält. Auf der horizontalen Krone dieſer Steinſchüttung beabſichtigt man eine, einen Metre dicke, Béton-Lage A herzuſtellen, und ſie von der Seeſeite durch eine Linie dicht an einander gefügter Käſten, von der Landſeite blos durch ein aus Bruchſteinen zuſammengeſetztes Mäuerchen einzuſchließen. Die Béton-Unterlage ſoll nicht breiter werden, als es nöthig iſt, um mit retirirenden Schaaren den Fuß des aus Mauerwerk hergeſtellten Dammes B, deſſen untere Mauerdicke 12 Metres, die 1,35 Metres uber die höchſten Fluten erhobene Platform aber 10 Metres erhält, zu bilden. Auf dieſen Damm wird noch ein Parapet von 3 Metres Höhe geſetzt **).

*) Die weſentlichſten Punkte des Projektes ſind ſchon in der Art feſtgeſetzt, daß man bereits im Jahre 1830, 100000 Kubik-Metres Bruchſteine, welche beim Baue des Kriegshafens gewonnen wurden, auf den öſtlichen Theil des Dammes geſchüttet hat, und ſich anſchickt, die angeblich noch nöthigen 700,000 Kubik-Metres anzuwenden, um den ganzen Damm bis zur gewünſchten Höhe zu bringen, und ihm ungefähr 20 Metres zur Kronenbreite zu geben.

**) Nach einem andern Projekte ſoll dem Damme eine Dicke von 20 Metres gegeben werden; er beſtände dann aus zwei Mauern,

Die äußere Verkleidung ſoll aus Granit, die innere aus Schieferſteinen hergeſtellt werden, und auf dieſer Seite wird die aus kleinen Steinen beſtehende Steinſchüttung ſich am Damme, bis ungefähr in f, zum Mittel zwiſchen dem hohen und niedrigen Meere erheben. Vorn am Fuße des Dammes, um ihn, wie man glaubt, vor dem Anſchlage des Meeres zu ſchützen, will man aus großen Blöcken, von 1 bis 1,5 Kubik-Metres, nach der ganzen Länge eine Schüttung C machen *). Die Dimenſionen dieſes Steinvorwurfes ſind nicht beſtimmt, man glaubt jedoch, daß er bis zu zwei Drittel der Dammhöhe

deren Zwiſchenraum mit trockenem Mauerwerk ausgefüllt, und mit einer Pflaſterung bedeckt würde.

*) Wegen der Zufuhr dieſer Blöcke, aus den Steinbrüchen von Roule zum Handelshafen, baut man bereits eine Straße; ein Theil davon (80 Metres Länge) ſoll als Eiſenbahn hergeſtellt werden. Ein ſehr ſinnreich eingerichtetes Fahrzeug, zum Transport und zur Schüttung der Bruchſteine und großen Blöcke, iſt beinahe ganz fertig; es wird mittelſt eines Dampfbootes bugſirt werden. Seine Einrichtung iſt weit vorzüglicher, als die der engliſchen Fahrzeuge, welche beim Baue des Wellenbrechers von Plymouth angewendet wurden. Bei jeder Fahrt werden mehr als 150 Kubik-Metres Bruchſteine, welche in Rollkiſten gefüllt ſind, oder 180 auf kleinen Karren ruhende Blöcke transportirt, und ins Waſſer geſtürzt werden können. Man glaubt, daß das Ausſtürzen der, auf dem Verdecke ſo angeordneten, Ladung durchſchnittlich in weniger als einer Stunde beendiget ſein wird. Rundum am Borde befinden ſich Hebelvorrichtungen, durch welche nicht allein die Ausſchüttung, ſondern auch das Zurückfahren der leeren Kiſten und Karren in die unteren Räume bewirkt wird.

Aehnliche Fahrzeuge ſollen, ſobald man nur erſt mit dieſem den Verſuch gemacht haben wird, noch erbaut werden; ihre Zahl bleibt von der Thätigkeit, mit der man den Bau betreiben dürfte, abhängig.

reichen, und ſich auf 30 bis 40 Metres vor die Gründung hin, ſo wie es im Profile gezeichnet iſt, erſtrecken werde.

284. Bei dieſem Projekte ſind hauptſächlich drei Gegenſtände zu beſprechen: erſtlich, die Unwandelbarkeit der Steinſchüttung von 1784, auf welche man zu gründen beabſichtigt; zweitens, der am Fuße des neuen gemauerten Dammes aus großen Blöcken zu machende Vorwurf, und drittens, das Profil des Dammes.

285. Man hat die Seegräſer, mit welchen die Steine der Schüttung bis zum Niveau des niedrigen Meeres, ſowohl bei der mittleren Batterie, als auch faſt überall auf den zwei niedrigeren Armen des Dammes, bedeckt ſind, als ein Zeichen von unerſchütterlicher Standhaftigkeit bei dieſem Haufen kleiner Steine angeſehen; mir ſcheint jedoch, daß es keine weniger zuverläſſige Anzeige gebe, und daß man aus dem Vorhandenſein der Seegräſer höchſtens zu folgern im Stande ſei: es wären die Steine ſo lange nicht von der Stelle gerückt worden, als das Gras wächſt. Da ſich aber dieſe Pflanze ſehr ſchnell verbreitet und groß wird, ſo beweiſet ihr Vorkommen nichts; denn ſie kann die, von der Wirkung eines Sturmes umher geworfenen und ganz entblößten, Steine in ſehr kurzer Zeit wieder bedecken.

Der Grund des Meeres, die Felſen am Ufer, und ſelbſt Bauwerke, ſind häufig, vom Niveau des höchſten Meeres bis zu den größten uns bekannten Tiefen, ganz mit Seegräſern bewachſen. Die Grundwellen reißen ſie nicht heraus, weil ſie, ſo wie andere mit Waſſer bedeckte Pflanzen, empor ſtehen, und allen Bewegungen des Waſſers nachgeben; ſie bilden, ihrer großen Biegſamkeit wegen, gleichſam ein weiches Kiſſen, auf welchem diejenigen Theile der Grundwellen, die zwiſchen die Aeſtchen gerathen, ihre Kraft beinahe ganz verlieren. Nichts deſto weniger ſieht man nach jedem Sturme eine große Menge an das Ufer geworfener Seegräſer, aber dieſe ſind von den mit

den Grundwellen fortgerollten Steinen ausgeriſſen worden, oder haben, Alters halber, ihre Kraft und das Vermögen, ſich an den Körpern, wo ſie wuchſen, feſt zu halten, bereits verloren.

Man muß auch bemerken, daß die Heftigkeit der Grundwellen nicht ſchon in jener Tiefe beginnt, wo ſie ſich bilden; denn wie wir geſehen haben (92), ändern ſie, wenn der Meeresgrund horizontal bleibt, ihre Geſtalt gar nicht, und ſtören auch nicht die über ihnen liegenden Wellen.

Die Grundwellen haben alſo nicht an den tiefſten Stellen in der See, wo ſie ſich bewegen, zugleich ihre größte Kraft, ſondern auf den Abhängen, wo ſie ſich der Oberfläche des Meeres nähern; denn da ſind ſie nicht mehr mit der Wellenſchwingung überhaupt in Uebereinſtimmung, ſie werden zuſammengedrückt, erhöhen ſich, erheben die Wellen, und werden von ihnen wieder mit größerer Kraft und Geſchwindigkeit geſtoßen. Es iſt daher gar nicht wunderbar, daß die Grundwellen in den langen Zeiträumen zwiſchen den größten Stürmen die Steine der Schüttung vom Jahre 1784 unter dem Niveau des niedrigen Meeres, wo nur eine ſanfte Böſchung vom Meeresgrunde aufſteigt, nicht untereinander warfen, während ſie bei heftig bewegter See eine große Kraft erlangen können, und im Stande ſind, die ungeheuren Blöcke vor der mittleren Batterie zu bewegen, weil ihre Größe und ihre Heftigkeit beim Erſteigen der ſteilen Fläche c d ſich ungemein vermehrt. Wer möchte endlich zu behaupten wagen, daß Grundwellen, die von einem außerordentlichen Sturme erregt werden, nicht im Stande wären, einen neuen Angriff auf die, lange Zeit in Ruhe gelaſſene, Steinſchüttung zu machen. Es ſcheint mir daher verwegen zu ſein, Mauerwerk auf eine nicht beſſer verſicherte Baſis zu gründen. Andere Betrachtungen werden bald dieſe Anſicht noch mehr beſtätigen.

286. Die Erfahrung lehrt, daß die Schüttung aus gro-

ßen Blöcken, mit welcher man den gemauerten Damm umgeben will, den beabſichtigten Zweck nicht erfüllen und vielmehr eine Urſache ſeiner Zerſtörung ſein wird. Solche Blöcke haben zur Zerſtörung der mittleren Batterie im Jahre 1808 am meiſten beigetragen. Steine von gleichem Volumen, welche man neuerdings am Fuße dieſer Batterie verſenkte, werden bei ſtürmiſcher See noch jetzt hin und her geworfen. Je nach der Richtung der Winde, während der Stürme, werden ſie auch parallel mit dem Damme fortgeſtoßen, und ſammeln ſich an den beiden Enden, ſo wie es Herr Cachin ſchon im Jahre 1803 bemerkt hat *); auch werden ſie über die beiden niedrigeren Arme des Dammes hinweg getragen, und auf die innere Böſchung geſtürzt. Aehnliche Blöcke, welche noch heute am Damme von Becquet liegen, und, ſo wie bei der Batterie des Cherbourger Dammes, den Anblick eines Chaos darbieten, werden bei jeder heftigen Bewegung des Meeres nach allen Richtungen über einander geworfen. Dieſe Blöcke waren einſt am Fuße des Dammes, jetzt ſind ſie auf ſeiner Krone; es gibt ihrer einige, welche auf den Quai geworfen worden ſind, und einen, der ſogar in den Hafen geſchleudert wurde. Dieſe Bewegung der großen Blöcke iſt heut zu Tage noch gerade dieſelbe, wie zur Zeit, als der Damm von Becquet und die mittlere Batterie zerſtört wurden; ſie iſt dieſelbe, welche den Ruin der Werke von Cadix und des Dammes von St. Jean de Luz herbeiführte; ſie iſt es, welche zu allen Zeiten vorkommen und die nämlichen Wirkungen wieder hervorbringen kann.

So merkwürdige Beiſpiele, welche ſich täglich den Augen der Ingenieurs darbieten, laſſen in Betreff des Projektes, am Fuße des neuen Dammes eine Schüttung aus großen Blöcken anzulegen, keinen guten Erfolg vorherſehen. Es iſt ge-

*) Das angeführte Memoire p. 24.

wiß, daß dieſe Blöcke umher geworfen, und von den Oſt- und Weſtwinden parallel mit dem Damme werden fortgeſtoßen werden; daß ſie an deſſen Enden gelangen, das Fahrwaſſer verlegen, und dort gefährliche Klippen bilden werden; das Schlimmſte aber iſt, daß dieſem höchſt unglücklichen Zufalle nicht mehr abgeholfen werden kann, ſobald die Blöcke einmal verſenkt, und der unausgeſetzten Wirkung der Grundwellen Preis gegeben ſind. Die von den Nordwinden herbeigeführten Grundwellen werden die Blöcke übereinander rollen, ſie zerſtreuen, in der Steinſchüttung Lücken bilden, dadurch bedeutende Theile des gemauerten Dammes entblößen und mit ihrer ganzen Kraft, und mit der Maſſe der mitgeriſſenen Blöcke gegen dieſe Mauertheile ſo lange anſchlagen, bis die Zerſtörung, ſo wie zu Cadix, zu St. Jean de Luz, bei der mittleren Batterie, und beim Damme von Becquet erfolgen wird. Es könnte ſelbſt geſchehen, daß der Damm noch vor Beendigung der Arbeit angegriffen und auf eine entmuthigende Weiſe beſchädigt würde.

287. Was das Profil dieſes Dammes belangt, ſo habe ich früher zur Genüge die Nachtheile vertikaler Mauern, und den ſchlechten Erfolg jener Verſuche erwähnt, welche namentlich bei einigen Theilen der Dämme gemacht worden ſind, die Brémontier am Eingange zur Bucht von St. Jean de Luz ausführen ließ. Dieſe Theile wurden, nicht ſo ſehr weil ſie an ihren Enden nicht genug verſichert waren, um die Fortſetzung der Arbeit abzuwarten, als vielmehr durch die Grundwellen, welche an mehreren Stellen das Bauwerk durchbrachen, zerſtört (254).

Das für den neuen Damm von Cherbourg gewählte Profil entſpricht demnach insbeſondere ſchon nicht in Beziehung auf die Widerſtandsfähigkeit, gegen den ungeheuren Anſchlag der Grundwellen, und wenn der Damm auch, in Folge der außerordentlichen Größe, welche man den Quaderblöcken ſeiner Verkleidung geben möchte, zu widerſtehen geeignet

wäre, ſo würde eine andere Urſache ſeinen Ruin herbeiführen. Es kann nämlich nicht ausbleiben, daß die über die Böſchung c h dahin laufenden Grundwellen ſich an der Granitmauer vertikal erheben, und beim Zurückfallen, ſei es vor Beendigung der, aus großen Blöcken beſtehenden, Schüttung, oder nachdem die Stürme einige Theile der Mauer am Fuße entblößt haben, unfehlbar Auskolkungen im alten Damme hervorbringen, und ſo den Umſturz des neuen gemauerten Dammes nach ſich ziehen.

288. Es iſt hieraus erſichtlich, daß man, wenn nach den bisher angenommenen Grundſätzen zu arbeiten fortgefahren wird, nicht allein keinen Erfolg erzielen kann, ſondern ſogar Gefahr läuft, den jetzigen Zuſtand der Sachen noch zu verſchlimmern. Macht man die Steinſchüttung c, ſo werden die großen Blöcke eines Theils den Damm zerſtören, anderen Theils in das Fahrwaſſer geworfen werden und es verlegen; unterläßt man die Steinſchüttung, ſo bringen die Unterwaſchungen große Gefahr. Dieſe Alternative beweiſet, daß das jetzige Projekt die Schwierigkeiten nicht zu beſeitigen vermag.

289. Durch die Anwendung meines concaven Profiles zum Damme von Cherbourg begegnet man allen Unzukömmlichkeiten, von welchen bisher die Rede war. Man wird, ſelbſt ohne den Damm über das Niveau der hohen Fluten zu legen, vollkommene Ruhe erzielen, und eine unwandelbare Standhaftigkeit der Materialien erlangen.

Nehmen wir an, daß man dem Meere, unter denſelben Umſtänden, wie zu Cherbourg und zu Plymouth, einen Damm, C D E F, Fig. 52, entgegenſetze, deſſen Verkleidung nach einem, mit der Concavität gegen die See gekehrten, Viertelkreiſe profilirt iſt. P O ſei der Grund des Meeres, A und B Wellen der Oberfläche bei hoher See, a und b entſprechende Grundwellen. Die bis zur Verkleidung dieſes Dammes gelangende Grundwelle b wird von der Kraft der in

Schwingung befindlichen flüſſigen Maſſe nach i geführt, unterbricht auf dieſe Art, vertikal empor wirkend, die darüber befindliche Welle gänzlich, und verurſacht ein ſtarkes Aufſchäumen I. Beim Zurückfallen der Welle in ſich ſelbſt wird das Waſſer auf der Rhede nicht beunruhigt, und ſelbſt oberhalb des Dammes entſteht nur eine ſchwache ſtehende Schwingung I, (clapotage). Da jede, von der Wellenbewegung herbeigeführte Grundwelle auf gleiche Weiſe wirkt, und die Undulation aufhebt, ſo können ſich auch die Wellen durchaus nicht fortpflanzen. Auf ſolche Art wird in allen jenen Fällen, wo nicht andere Rückſichten, als bloße Herſtellung der Ruhe, die Errichtung eines Parapets bis über das Niveau der hohen See erforderlich machen, ein concaver, ſtets unter dem Waſſer bleibender, Damm vollkommen ſeinen Zweck erfüllen. Beim Damme von Cherbourg würde es hinreichend ſein, die Krone auf 5 Metres unter die höchſte Flut zu legen, um ſowohl vollkommene Ruhe auf der Rhede zu erlangen, als auch jeden Verſuch, mit großen Schiffen einzudringen, unmöglich zu machen. Kleine Fahrzeuge werden ohnehin durch das Brechen der Wellen und die ſtehende Wellenſchwingung (clapotage), die jederzeit über der concaven Wand Statt findet, aufgehalten.

290. Es iſt zu bemerken, daß in Folge dieſes Damm-Profiles und der dadurch hervorgebrachten beſonderen Bewegungen der Grundwellen, jene Stöße, welche ſich auf der Rhede jetzt zwei Stunden vor, und zwei Stunden nach dem höchſten Meeresſtande fühlbar machen (278), ganz unterbleiben werden.

291. In jenen Fällen, wo man gezwungen iſt, die Krone des Dammes über die Oberfläche des Meeres zu legen, ſichert mein concaves Profil, ſo gut wie jedes andere von gleicher Höhe, eine vollkommene Ruhe; ſein beſonderer Vortheil aber beſteht in der unerſchütterlichen Standhaftigkeit des ganzen großen Baues.

292. Ein ſtets unter dem Waſſer zu bleiben beſtimmter Damm mit vertikaler Verkleidung, oder mit einer ſchwachen Concavität, wie die engliſchen Mauern (258), Fig. 48, könnte, bei gehöriger Höhe, ohne Zweifel die Wellen eben ſo brechen, wie es an den ſteilen Wänden mancher natürlichen Bänke in verſchiedenen Meeren der Fall iſt (110); auch könnte derſelbe ohne Weiteres nach einer von den ſpäter anzugebenden Methoden, zur Gründung eines Dammes mit concavem Profile, hergeſtellt werden; aber eine vertikale oder wenig gekrümmte Verkleidung hätte, wie ich ſchon bemerkte, den großen Nachtheil, durch das Herabfallen der Grundwellen Auskolkungen zu veranlaſſen, die unfehlbar den Ruin des ganzen Baues nach ſich ziehen würden*).

*) Montfaucon gibt nach dem damals in Neapel ſich aufhaltenden Alterthumsforſcher Anton Bulifon, eine Anſicht des Hafens von Pozzuoli (Antiquité expliquée t. 4. 2me partie p. 183.). Er behauptet, daß 14 Pfeiler, welche noch in dieſem Hafen beſtehen, und unter dem Namen der Brücke des Caligula bekannt ſind, die Ueberreſte eines von den Griechen erbauten Molo's wären, der auf Bögen geruht haben ſoll. Herr Goury ſpricht in ſeinem Supplement aux Souvenirs polytechniques, p. 125, dieſelbe Meinung aus, und ſieht dieſes Denkmal für einen Molo an, welcher dem Hafen Ruhe verſchafft, und zu einem, von Plinius erwähnten Leuchtthurme geführt habe. Die Darſtellung dieſes alten, nach einer Zeichnung von Bulifon copirten Bauwerkes zeigt mehr Aehnlichkeit mit den Ueberreſten einer Brücke, als mit jenen eines Molo. Man ſieht aus der Zeichnung, daß die Wölbungen ſich über den Waſſerſpiegel erhoben, und daher die Wellen in den Hafen eindringen laſſen mußten. Vielleicht waren die Pfeiler breit genug, um einen großen Theil der Wellen aufzuhalten, und in dem Hafen eine hinländliche Ruhe herzuſtellen. Es wäre dieß jedoch das einzige bekannte Beiſpiel einer ſolchen Bauart, der man übrigens mit Unrecht den Vortheil beilegt, daß der von der Flut gebrachte Sand wieder von der

293. Nur ein Damm mit concavem Profile kann allen Bedingungen der Aufgabe vollkommen entſprechen; denn außerdem, daß an der Verkleidung der Anſtoß der Grundwellen unſchädlich abgeleitet wird, ſo verhindert ſie auch die Unterwaſchungen oder Auskolkungen, weil jede Grundwelle, nachdem ſie die obere Welle gebrochen hat, beim Herabfallen längs der Verkleidung nothwendig einer neu anlangenden Grundwelle begegnet, von ihr zerſtreut wird, und alſo keine Wirkung auf den Meeresgrund haben kann.

294. Man hat es ſeit langer Zeit und ſtets ohne Erfolg verſucht, das Materiale am Damme von Cherbourg feſt zu halten; wenn man aber fortfahren wird, dem Meere bewegliche Steine zu überlaſſen, oder ihm in ſolcher Lage ſogar vertikale Verkleidungen entgegen zu ſetzen, ſo werden die Arbeiten auch keine Hoffnung einer vollkommenen Standhaftigkeit geben können.

295. Ein Bewohner von Cherbourg, Herr Dumont Moulin, hat neulich unter dem Titel: Systéme nouveau de constructions hydrauliques pour fonder en pleine mer, ein Memoire herausgegeben, welches Bemer-

---

Ebbe zurückgeführt werden könne, denn die Bewegung des Sandes iſt, wie ich gezeigt habe (139), nicht eine Folge der Fluten, die im mittelländiſchen Meere ohnehin kaum merklich ſind. Um die Wellenbewegung aufzuhalten, dürften die Bögen, auf welchen der Molo ruht, nicht höher über dem Meeresgrunde ſein, als um gerade die Grundwellen durchzulaſſen. Die obere Wellenſchwingung würde an der verticalen Wand des Molo aufhören, die Grundwellen aber in der ruhigen Waſſermaſſe des Hafens ſich zerſtreuen. Große Schwierigkeiten machen dieſe, überdieß keinen beſonderen Nutzen gewährende Bauart unanwendbar, und es wäre hier nicht davon geſprochen worden, wenn nicht Goury in ſeinem Werke die Anſicht von Montfaucon wieder vorgebracht hätte.

kungen über die Bauwerke von Cherbourg und die Beſchreibung eines Mittels enthält, den aus verlorenen Steinen hergeſtellten Damm feſt zu machen. Er ſchlägt vor, die Steinſchüttung, welche vorläufig bis zum Niveau der niedrigen Fluten erhöhet werden ſoll, mit einem Netze aus ſtarken Ketten von Eiſen oder Kupfer zu bedecken, an deſſen äußeren Maſchen große Blöcke befeſtiget ſein würden, die am Fuße der Böſchung auf dem natürlichen Meeresgrunde ruhen. Das Netz ſoll dann mit einer 1 Metre dicken Béton-Lage überdeckt werden, und auf der Krone dieſer Einhüllung, welche der Verfaſſer als ein Mittel anſieht, um gleichſam einen unzerſtörbaren Felſen herzuſtellen, ſoll ſich ein gemauerter Damm bis über die höchſten Fluten erheben. Herr Dumont Moulin hat ſein Project beim Inſtitute eingereicht; ich werde mich daher enthalten, die Details und die vorgeſchlagenen Verfahrungsweiſen zu beſprechen, und mich auf die Bemerkung beſchränken, daß der Erfolg von der Wirkung der Grundwellen auf die an die Ketten befeſtigten Blöcke und auf die Bétonlage, ſo lange ſie noch weich iſt, abhängig ſein wird.

296. Der jetzige Zuſtand des Dammes von Cherbourg iſt zur Herſtellung meiner concaven Mauern nichts weniger als günſtig und es wäre beſſer, wenn früher gar keine Steinſchüttung gemacht worden wäre; da aber dieſes Mittel ſicher das einzige iſt, welches zu gleicher Zeit eine beſtändige Ruhe und eine vollkommene Solidität verbürgt, auf deſſen Erfolg man endlich auch mit Gewißheit zu zählen vermag, ſo will ich dem jetzigen Stande der Sachen das Projekt anzupaſſen ſuchen.

297. Die Erbauung einer concaven Mauer vor einer Rhede würde keine größeren Schwierigkeiten verurſachen, als jene, welche man bei Herſtellung des Dammes von Cherbourg und des Wellenbrechers von Plymouth überwand. Die Steinſchüttung, blos ein Theil des jetzt als angenom-

men bezeichneten Projectes, nähme gewiß mehr Arbeit zur Gewinnung, zum Transporte und zur Verſenkung der erforderlichen 3 bis 400,000 Kubik-Metres großer Blöcke in Anſpruch. Sollte man aber auch bei Herſtellung eines Dammes mit concavem Profile ſehr großen Hinderniſſen begegnen, ſo iſt es doch gewiß, daß der gute Erfolg des Unternehmens für die Anſtrengungen zu ihrer Ueberwindung gänzlich ſchadlos zu halten vermag.

Es gibt verſchiedene Mittel, den Bau auszuführen; ich will aber nur jene anzeigen, welche ich für die vorzüglichſten und beſten halte.

1. Käſten.

298. Zur Herſtellung des unteren Theiles von einem Damme, und zwar bis zum Niveau des niedrigen Meeres, dienen gezimmerte Käſten, Fig. 57, deren Geſtalt ſich nach den der See zuzukehrenden, concaven Dammprofilen, Fig. 55 und 56, richtet, als Form. Sie werden auf den Werften erbaut und, nach dem gewöhnlichen Verfahren in das Waſſer gebracht, ſchwimmend erhalten, und auf ähnliche Weiſe, wie die Ceſſart'ſchen Kegel, bis an den Ort ihrer Beſtimmung bugſirt, mit dem einzigen Bemerken, daß ſie ſich nicht zierlich über dem Waſſerſpiegel halten, ſondern mit demjenigen Theile, der dem Fuße der concaven Verkleidung entſpricht, untertauchen, weil dieſer früher mit Béton-Mauerwerk D angefüllt wird, um einer vollkommenen Ausfüllung desſelben verſichert zu ſein. In der Figur 57 iſt mit punktirten Linien ein durch Tonnen bei niedrigem Meeresſtande ſchwimmend erhaltener Kaſten dargeſtellt, wie er an der gehörigen Stelle gerade zu ſtranden beginnt. Durch ſchnelles Einwerfen von Béton und Steinen werden die Käſten am Grunde feſtgehalten. Zu dieſem Behufe zweckmäßig gebaute platte Fahrzeuge (Gabarren) machen es möglich, große Maſſen dieſer Ma-

terialien auszuſchütten, und gleichmäßig in den Käſten zu vertheilen. Auch bei hohem Meeresſtande kann mit dieſer Arbeit bis zur völligen Anfüllung fortgefahren werden, doch darf man nicht zu ſehr eilen, um dem Bauwerke Zeit zu laſſen, eine gewiſſe Conſiſtenz anzunehmen, damit die Wände der nur als Form dienenden Käſten nicht plötzlich einen zu großen Druck erleiden.

Sobald die in einem ſolchen Kaſten geformte Béton-Maſſe eine hinlängliche Härte erlangt hat, werden die Holzwände abgenommen, und können zu anderen Käſten verwendet werden. Nur der Boden, welcher am Grunde liegt, und die Holzſtücke der inneren Verbindung, welche von der Béton-Maſſe eingeſchloſſen werden, müſſen bleiben, wo ſie ſind.

Hat man im Voraus ſondirt, ſo läßt ſich die Geſtalt einer jeden Seitenwand und die Lage des Bodens genau genug beſtimmen, um den Kaſten dem Meeresgrunde gehörig anzupaſſen; aber ſelbſt in dem Falle, daß ein Kaſten nicht horizontal geſtellt würde, hat dieß keinen Nachtheil, weil das zirkelförmige Profil ſich ſtets auf gleiche Weiſe den Grundwellen entgegenſtellt.

299. Der Damm kann demnach vorerſt nur aus einzelnen, 5, höchſtens 6 Metres von einander entfernten Theilen, die in den Käſten an Ort und Stelle gleichſam abgeformt worden ſind, beſtehen. Um dieſe Theile zu einem Ganzen zu machen, braucht man nur an den Zwiſchenräumen einerſeits eine concave, andererſeits eine gerade Wand an die ſchon fertigen Theile zu legen, mit Holzwerk gehörig zu verbinden, und ſolcher Geſtalt eine neue, auszufüllende Form zu bilden.

Nachdem der Damm auf dieſe Art bis zum Niveau des niedrigen Meeres hergeſtellt iſt, wird derſelbe mit einem, die Concavität fortſetzenden Profile höher aufgebaut, und beſonders die Verkleidung des oberen Mauerwerks aus ſehr großen Werkſtücken, die man in allen Fugen durch keilförmige Zuar-

beitung, durch Falze, ja ſelbſt durch ſtehende Binder vereinigt, zuſammengeſetzt.

Die Figur 55 zeigt das Profil eines Dammes, deſſen Vordertheil nach der beſchriebenen Weiſe erbaut, und bis auf 5 Metres über die Oberfläche des höchſten Meeres durch eine mit Werkſteinen verkleidete Mauer erhöhet iſt. Der hintere, völlig geſchützte Theil des Dammes beſteht aus einer Steinſchüttung, wozu auch kleinere Steine verwendet werden können; und wird, um die Communication zu erleichtern, mit einer Pflaſterung verſehen. Die Kronenbreite des Dammes beträgt im Ganzen höchſtens 10 Metres. Jeder Kaſten könnte 40 Metres Länge erhalten; und 80 bis 100 Käſten ſammt eben ſo vielen 5 bis 6 Metres breiten Zwiſchenweiten wären für eine Dammlänge, wie die zu Cherbourg, hinreichend.

Für die Köpfe müßten beſondere Käſten erbaut werden, um die nöthige Abrundung zu erzielen. Zum Wellenbrecher von Plymouth wären nicht mehr als 30 bis 40 Käſten und eben ſo viele auszufüllende Zwiſchenräume nöthig geweſen.

Die Figur 56 gibt das Detail eines unter dem Waſſer zu bleiben beſtimmten, auf dieſe Art gebauten, Dammes. Bis zum Niveau des niedrigen Meeres iſt er aus Béton geformt, und oben mit Quadern überdeckt. Seine Krone dürfte, um bei jedem Meeresſtande durch das bloße Brechen der Wellen Ruhe auf der Rhede herzuſtellen, nur 5 Metres unter dem Niveau der höchſten Fluten liegen. Die Maſſe des Dammes beſteht aus einer Schüttung von kleinen Steinen, welche oben mit ſehr großen, auf einer hinlänglich dicken Mauerunterlage ruhenden Quadern abgepflaſtert iſt, um das Material des Steinwurfes vor der Wirkung des von der Wellenbrechung und der Klappenſchwingung beunruhigten Waſſers zu ſchützen.

2. Prismen.

300. Ein zweites Mittel beſtände in der Anwendung großer Prismen, welche aus Béton am Ufer erſt geformt, und dann an Ort und Stelle ſo über einander gelegt würden, daß ſich der Körper des concaven Dammes daraus bildete. Die den Prismen zu gebende Geſtalt iſt gleichgültig, wenn ſie nur erlaubt, daß ohne Unterſchied jedes Stück mit dem andern in die gehörige Verbindung treten kann. Ich halte die ſechsſeitige Geſtalt für eine der beſten; die Baſis eines jeden Prismas erhielte 4 Quadrat-Metres zur Oberfläche; die Länge müßte nach Bedürfniß wechſeln, ſo, daß die längſten nicht 8 Metres überſchritten, und alſo die größten Prismen einen Inhalt von 32 Kubik-Metres, und ein beiläufiges Gewicht von 70,000 Kilogrammen hätten. Solche Dimenſionen und eine ſolche Schwere ſind jedenfalls geeignet, völlige Beruhigung wegen der Standhaftigkeit dieſer Blöcke zu gewähren. Außerdem, daß kein Prisma einzeln von der Stelle geführt werden könnte, hat auch das Ganze, weil jedes von den andern ganz umgeben, und nach der ganzen Länge überdeckt iſt, eine vollkommene Solidität. Die Prismen kehren den Grundwellen nur ihre Baſen zu, und können in zurücktretende Schaaren gelegt werden, um die Krümmung des Profiles möglichſt herauszubringen. Auch könnten die Baſen der zur Verkleidung beſtimmten Prismen ſchon beim Formen ſchief gemacht werden, um die Concavität der Oberfläche beſſer herzuſtellen. Allerdings werden noch einige Unebenheiten bleiben, ſie werden aber ſtets unbedeutender ſein, als an den Steinſchüttungen, und weder einen Nachtheil für die Solidität des Bauwerkes, noch für den Effekt des Profiles, in Beziehung auf die Bewegung der Grundwellen, verurſachen.

Ich habe in den Figuren 58 und 59 den Durchſchnitt und die Anſicht einer nach dieſem Verfahren erbauten Dammwand

dargeſtellt, und angenommen, daß ſich der Damm 5 Metres über die höchſten Fluten erheben müſſe. Sobald es ſich darum handelt, einen niedrigeren Damm herzuſtellen, ändert ſich nichts in der Verfahrungsweiſe, nur der Halbmeſſer der Krümmung würde ein wenig kleiner.

301. Die Prismen, welche ich zur Erbauung einer concaven Mauer für einen Damm, wie der zu Cherbourg, anzuwenden vorſchlage, unterſcheiden ſich eben ſo ſehr durch ihr Volumen und ihre Geſtalt, als durch die Art ihres Gebrauches von den dreiſeitigen Béton-Prismen, deren man ſich in Piemont und Toskana beim Waſſerbaue bediente *). Belidor, welcher ſchon derlei Prismen beſchreibt **), gibt ihnen, um im Meere eine Schüttung zu bilden, vor den verlorenen Steinen den Vorzug, weil ſie ſich regelmäßig zuſammenlegen, und keine Zwiſchenräume laſſen. Ich glaube nicht, daß ſolche Prismen, deren Kubik-Inhalt kaum einen halben Kubik-Metre beträgt, der großen Wirkung der Grundwellen zu widerſtehen im Stande wären. Sie können daher bei Seebauten nicht angewendet werden.

302. Der beim Hafen von Honfleur angeſtellte Ingenieur, Herr Icard, hat vorgeſchlagen, den Damm von Cherbourg aus Blöcken von Puzzuolane, in der Größe einer Kubik-Klafter herzuſtellen, und wurde beauftragt, dießfalls Verſuche zu machen ***). Es iſt nicht bekannt geworden, welches Verfahren er ſich erdacht hat, um dieſe Blöcke zu verfertigen, zu transportiren und zu verſenken, ja man weiß nicht einmal, welche Reſultate die Verſuche gehabt haben, oder ob ſie wirklich angeſtellt worden ſind.

---

*) Souvenirs polytechniques, par G. Goury, Ingenieur en chef des ponts et chaussées.

**) Architecture hydraulique, II. partie, t. 2, liv. 3, chap. 2, sect. 3.

***) Bericht der Kommiſſion von 1792, Note zum Artikel 27.

303. Mein Konſtruktions-Syſtem mit ſechsſeitigen Prismen hat einige Verwandtſchaft zur Bauweiſe jenes Dammes, der den neuen Hafen von Alexandrien in Nieder-Egypten begränzt, der ganz aus übereinander gelegten Säulen*) beſteht, wovon die meiſten von Syenit ſind. Die Feſtigkeit dieſes Bauwerkes gäbe für meinen Vorſchlag eine gute Vorbedeutung, wenn nicht ſchon alle Ueberlegungen uns die Verſicherung einer unerſchütterlichen Standhaftigkeit gewähren müßten.

304. Die in den Figuren 58 und 59 dargeſtellten ſechsſeitigen Béton-Prismen könnten am Strande, in hölzernen, auf einem Gerüſte liegenden Formen, gegoſſen werden. Dieſe Formen beſtünden aus 4 Seiten- und 2 Grundflächen, die fünfte Seitenfläche würde von der horizontalen, mit Sand beſtreuten Unterlage gebildet, und die ſechſte bliebe zum Einſchütten der Béton-Maſſe oben offen. Sobald der Béton genug erhärtet wäre, um ſeine Geſtalt nicht mehr verändern zu können, würden die Holzwände abgenommen, und auf dieſe Art können ſie zur Verfertigung mehrerer Prismen dienen.

Wenn das Gerüſt zur Abformung an einem Ufer hergeſtellt iſt, das von der ſteigenden See auf wenigſtens 5 Metres Höhe bedeckt werden kann, ſo hat die Hebung, der Transport und die Verſetzung der Prismen bei weitem weniger Schwierigkeiten, als man nach ihrem Volumen und nach ihrer Schwere vermuthen ſollte. Eiſerne Stangen, welche horizontal durch Löcher geſteckt werden, die ſchon bei der Formung in der Bétonmaſſe ausgeſpart worden ſind, dienen dazu, um jedes Prisma mit Ketten an eine Tonne zu hängen, deren Ausmaße ſo groß ſein müſſen, daß ſie ſich ſammt dem Gewichte eines Prismas ſchwimmend zu erhalten vermag. Wenn in Folge des ſteigenden Meeres die Hebung eines Pris-

*) Description de l'Égypte, tome 1., app. Nro. 1, p. 18.

mas auf dieſe Art Statt gefunden hat, ſo kann die beſchwerte Tonne leicht bis zum Damme bugſirt werden.

Um die Legung eines Prismas zu bewerkſtelligen, werden die Hähne an den Spunden der Tonne geöffnet; der obere, um die Luft auszulaſſen, der untere, um das Eindringen des Waſſers zu geſtatten. Die Tonne ſinkt hierauf allmälig; es kommt endlich ein Augenblick, wo ſie mit einem kleinen Gewichte ſchon zu Grunde gezogen werden könnte, dann wird der Hahn zum Austritte der Luft geſchloſſen, und Taucher führen und legen den prismatiſchen Block mit aller Leichtigkeit und wünſchenswerthen Genauigkeit. Dieſe Operation kann auch leicht beobachtet und dirigirt werden, da bei ruhigem Meere das Waſſer bis zu einer großen Tiefe durchſichtig iſt*).

Wenn ein Prisma an ſeiner Stelle iſt, ſo wird der Lufthahn noch einmal geöffnet, damit ſich die Tonne noch mehr anfüllen und ſenken könne, und das Prisma mit ſeinem ganzen Gewichte ſich zu legen vermag. Da die Tragketten jetzt nicht mehr geſpannt ſind, ſo können ſie durch das Herausziehen der Eiſenſtangen ohne Schwierigkeit losgemacht werden. Mittelſt eines langen ledernen Schlauches wird dann von einem Kahne aus, der Tonne Luft eingepumpt; ſie ſteigt hiernach zur Oberfläche, und wird wieder an das Ufer gebracht.

Eine und dieſelbe Tonne kann nach und nach zum Transporte einer großen Menge von Prismen dienen und die Zahl der Tonnen ließe ſich leicht nach der Beſchleunigung, mit der man den Bau zu betreiben gedenkt, proportioniren.

---

*) Man bezeichnet einige Seegegenden, wo die Durchſichtigkeit des Meeres außerordentlich groß iſt. An der Inſel Soula (vielleicht Soulu) dringt der Blick auf 40 bis 50 Fuß Tiefe durch. In dem karaibiſchen Meere unterſcheidet man auf 60 Faden Tiefe (360 Fuß) die Korallen und Fiſche. (Malte-Brun, Précis de géographie universelle t. IV. p. 294, t. 5. p. 726.)

Die Zuſammenſetzung von einigen Abtheilungen geſchickter Taucher für dieſe Arbeiten wäre ſehr bald geſchehen *).

Zu den abgerundeten Köpfen des Dammes wären die Prismen keilförmig zu geſtalten, doch blieben die ſechsſeitigen Baſen ſtets nach außenhin gekehrt.

305. Für eine Damm-Länge von 4 Kurrent-Metres wären beiläufig 36 Prismen von den oben angegebenen Dimenſionen nöthig, daher für die Länge von 4000 Metres, wie ſie der Damm von Cherbourg hat, 36,000 Prismen hinreichend. Man kann vorausſetzen, daß an mehreren Punkten zugleich gearbeitet werde; es könnten daher bei jeder Flut eben ſo viele Prismen gelegt werden, als man Tonnen hat.

Nimmt man an, daß ihrer nur 100 vorhanden ſind, und daß es an fertigen Blöcken niemals fehlt, ſo braucht man zur Erbauung der Mauer, wenn das Meer jährlich nur 120 Tage zu arbeiten geſtatten ſollte, drei Sommer. Weil man ferner aus Erfahrung weiß, daß der Béton zehn Monate zur völligen Erhärtung braucht, ſo müßten die nöthigen Prismen

---

*) Herr Karl Dupin hat in ſeiner Voyage dans la Grande-Brétagne vorgeſchlagen, in den Häfen Taucher-Compagnien zu errichten. Herr Chateau de Calleville ſagt, daß in dem finnländiſchen Meerbuſen zum Behufe der Rettung bereits eine ſolche beſtehe. (Tableau de la mer baltique, t. 2, p. 251.)

Herr Lemaire d'Augerville, Direktor der Rettungsgeſellſchaft, hat eine Vorrichtung erfunden, die er Pneumatonautique heißt, und mittelſt welcher ein Taucher ganz ohne Schwierigkeit durch 20 bis 25 Minuten unter dem Waſſer bleiben, ſich bewegen und arbeiten kann. Zu Paris, in verſchiedenen Häfen, und namentlich zu Cherbourg, ſind auf Befehl des Marine-Miniſters Verſuche darüber angeſtellt worden, welche überall den beſten Erfolg hatten. Taucherabtheilungen, mit dieſer ſinnreichen Vorrichtung verſehen, würden ſehr leicht die Legung meiner Béton-Prismen beſorgen.

für den erſten Sommer ein Jahr vorher verfertigt werden, wonach ſich die ganze Bauzeit für alle Arbeiten, mit Inbegriff der Steinſchüttung hinter dem Damme, die mit demſelben gleichzeitig gemacht werden kann, auf vier Jahre beſtimmt.

Jährlich müßten alſo beiläufig 12,000 Prismen geformt werden. Jedes Prisma erfordert, im Mittel gerechnet, zu ſeiner Abformung eine Fläche von 20 Quadrat-Metres; 12,000 Prismen brauchen alſo eine Fläche von 240,000 Metres, die man am Ufer leicht finden dürfte. Es läßt ſich annehmen, daß die Verfertigung der Prismen nur durch 10 Monate im Jahre betrieben werden könne, und daß ein Monat vergehe, bevor der Béton ſo viel Konſiſtenz erlanget hat, um die Abnahme der Formen zu geſtatten; es wären folglich, um keine Verzögerung der Arbeit zu veranlaſſen, 1200 Formen nöthig.

306. Die großen Dimenſionen und das Gewicht der prismatiſchen Béton-Blöcke könnten Manchem Veranlaſſung geben, die eben beſchriebene Arbeit als ein rieſenhaftes und unausführbares Projekt anzuſehen; aber man werfe nur einen Blick auf die Bauwerke der Alten, um zu ſehen, daß ſie noch viel größere und ſchwerere Blöcke, als ich zum Damme von Cherbourg anzuwenden vorſchlage, bewegt, transportirt und verſetzt haben. In der Vorausſetzung ſelbſt, daß die vorgeſchlagenen Konſtruktionen eben ſo große Schwierigkeiten darböten, als die Alten bei ihren Bauten gefunden haben, muß man ſich doch billig fragen, warum gerade die jetzige Welt nicht die Fähigkeit haben ſollte, ſie zu überwinden. Da der Eigennutz allein heut zu Tage ſchon große Unternehmungen hervorruft, ſo iſt es keinem Zweifel unterworfen, daß, wenn es ſich darum handelt, ein großartiges Werk zur öffentlichen Wohlfahrt herzuſtellen, der Stand unſerer Wiſſenſchaften und Künſte uns geſchickt genug machen werde, eben ſo viel zu leiſten, als die Alten zu leiſten vermochten. Die Nütz-

lichkeit und ſelbſt die dringende Nothwendigkeit, dem Damme von Cherbourg einen vollkommenen Beſtand zu geben, laſſen ſich nicht in Zweifel ziehen, und ſicherlich iſt bei den von mir vorgeſchlagenen Arbeiten, obgleich die Bétonblöcke ein Gewicht von 70,000 Kilogrammen haben könnten, und folglich 12 bis 14 Mal ſchwerer ſind, als die größten, zur mittleren Batterie neulich angewendeten Steinblöcke, nichts, was die gewöhnlichen Kräfte des Menſchen überſchritte.

Die bei dieſen Arbeiten vorkommenden Schwierigkeiten können bei Weitem nicht mit jenen verglichen werden, die man bei Erbauung der großen egyptiſchen Gebäude hat überwinden müſſen. Es handelte ſich dort darum, ungeheure Maſſen zu transportiren und aufzurichten, oder auf große Höhen über den Boden zu heben, um die Gebälke und Decken der Tempel herzuſtellen, während durch die Verfertigung meiner Prismen aus Béton jede ſchwierige Gewinnung und jede koſtſpielige Zufuhr erſpart, und ſtatt jeder Hebung ein bloßes Sinkenlaſſen nöthig wird, um ſo mehr, da ich zum Transporte bis auf die Rhede und zur Verſetzung ein ſehr kräftiges Mittel, nämlich den Unterſchied der Schwere von Luft und Waſſer benutze, und den Menſchen jeder Anſtrengung bei der Arbeit überhebe.

3. Gewölbeſteine.

307. Die eben erwähnte Konſtruktions-Methode gibt nach meiner Anſicht ſo viel Zuverſicht in Beziehung auf die Leichtigkeit des Transportes, und die möglicher Weiſe nur zu wünſchende Genauigkeit bei der Verſetzung, daß ich ſie der erſten vorziehe, und auch nicht im Mindeſten an dem guten Erfolge zweifle, wenn dieſelbe Methode angewendet würde, um einen Damm aus Bétonblöcken herzuſtellen, welche, nach dem Profile der concaven Mauern, in Geſtalt von Gewölbeſteinen

geformt worden ſind. Die Fig. 61 zeigt das Profil eines nach dieſem Syſteme erbauten Dammes, der ſich 5 Metres über die höchſten Fluten erhebt.

Für die Köpfe der Dämme wären die Blöcke ſo zu geſtalten, daß zu gleicher Zeit der Concavität des Profiles und der Rundung im Grundriſſe Genüge geleiſtet werden könne. Solche Köpfe hätten eine Solidität, wie ſie durch eine Steinſchüttung niemals ſo vollkommen zu erzielen iſt.

Die bei der Gründung zu verſetzenden größten Stücke möchten beiläufig 55 Cubik-Metres Inhalt, und außer dem Waſſer 140,000 bis 150,000 Kilogrammen an Gewicht haben. Mittelſt einer einzigen oder mittelſt mehrerer Tonnen könnte jeder Block, indem er an Ketten hängt, zu deren Befeſtigung die an einem Blocke in der Figur 61 angezeigten Haken dienen, transportirt und niedergelegt werden.

Ich ſpreche von dieſem dritten Projekte nur, um zu zeigen, daß ſolche Verfahrungsweiſen der Abformung, des Transportes und der Niederlegung für Bauten unter dem Waſſer von dem mannigfaltigſten Nutzen ſein können.

308. Ich behaupte übrigens keineswegs, daß dieſe Arbeiten durchaus leicht wären, man wird im Gegentheil bei der Ausführung vielleicht großen Schwierigkeiten begegnen; aber gewiß können ſie alle überwunden werden, und ich zweifle nicht, daß durch die Annahme eines concaven Profiles für den Damm zu Cherbourg, und die Anwendung der erklärten Verfahrungsweiſen, namentlich mit den ſechsſeitigen Prismen, eine große Erſparniß an Zeit, Arbeit und Geld erzielt, und jene unerſchütterliche Standhaftigkeit erlangt werden könne, die man bis jetzt fruchtlos geſucht hat, und wahrſcheinlich auf keinem andern Wege erreichen dürfte.

309. Damit man die von mir beſchriebene Konſtruktionsweiſe mit dem Projekte von 1820, und mit jenem, deſſen Grundſätze man bei den jetzigen Arbeiten befolgt, vergleichen

könne, habe ich auf einer Linie, Fig. 53, das Profil a b e f g h nach der vierten Tafel des Memoires von Herrn Cachin, und das Profil c D E F nach meinem Projekte für einen concaven hohen Damm zuſammengeſtellt; in der Fig. 54 ſieht man das Profil a b e B C c d nach dem Projekte für den neuen Damm, deſſen Details noch berathen werden, und das Profil c′ D E F nach meinem Projekte für einen concaven Damm, der ſtets unter dem Waſſer zu bleiben beſtimmt iſt, beiſammen.

In der Fig. 53 bezieht ſich das Profil a b c d auf die im Jahre 1784 gemachte Steinſchüttung, ſo wie ſie auf den Kupfertafeln des Memoires von Herrn Cachin dargeſtellt iſt.

Die Gründung des Mauerwerkes meiner beiden Projekte iſt unmittelbar vor der Steinſchüttung von 1784 angetragen, damit es ganz auf dem natürlichen Boden ruhen könne. Doch habe ich mit punktirten Linien in der Fig. 53 c′ D′ E′ F′ und Fig. 54, c′ D″ E″ F″ ſolche Anordnungen angedeutet, wobei ein Theil des Mauerwerkes auf die Steinſchüttung zu liegen kommt, die man von dem Anſtoße der Grundwellen ſo ſehr befeſtiget annehmen kann, daß die Beſorgniß einer Setzung unter der Laſt eines neuen Baues wirklich ungegründet erſcheint. Dieſe Anordnung iſt, der Lage nach, durch die Bedingung feſtgeſtellt, daß jener Theil der concaven Mauer, welcher der alten Steinſchüttung zunächſt kommt, nicht weniger als 3,5 Metres zur Dicke erhalten dürfe. Die erſte Stellung iſt, wegen des beſſeren Auflagers, der zweiten vorzuziehen, und dieſe dürfte wohl nur aus beſonderer Oekonomie gewählt werden. Ein Theil der Steinſchüttung ließe ſich herausnehmen, und als Nachſchüttung hinter dem Mauerwerke des neuen Profiles verwenden.

310. Die bloße Anſicht der Figuren genügt, um nach der Differenz der Querſchnittsflächen den Unterſchied der Unkoſten zu beurtheilen, die durch die Erbauung eines meiner Dämme und durch die anderen Projekte verurſacht würden.

Ueberdieß haben meine Dämme allein den Vortheil, zu gleicher Zeit die Aufgabe einer völligen Ruhe auf der Rhede, und einer unerſchütterlichen Standhaftigkeit zu löſen. Dieſe Rückſicht hat mich dazu beſtimmt, hier nicht in Details vergleichender Koſtenüberſchläge, die dem Werke ohnedieß zu viel Raum geraubt hätten, einzugehen. Wenn aber auch die Dämme mit concaven Profilen zu eben ſo großen Auslagen Veranlaſſung geben ſollten, wie die zur Vergleichung angenommenen Projekte, ſo verdienen ſie doch in Beziehung auf die Reſultate, deren man ſich verſichert halten kann, den Vorzug zur Beendigung einer ſo wichtigen Unternehmung, wie der Bau des Dammes von Cherbourg iſt, wo man auf dem Punkte ſteht, daß es ſich weniger um den Koſtenpunkt, als um den Erfolg handelt.

Dämme aus Zimmerwerk.

311. Bei den aus Holzwerk hergeſtellten Dämmen, welche dazu beſtimmt ſind, die Wellen zurück zu halten, und die Stelle gemauerter Molo's zu vertreten, läßt ſich ebenfalls mit Vortheil mein concaves Profil anwenden. Nach den früher entwickelten Grundſätzen kann man allemal, wenn es nicht nöthig iſt, auf der Krone eine Kommunikation herzuſtellen, den Damm nur niedrig halten, weil die unter dem Waſſer bleibenden Dämme durch die an der Vorderwand empor ſteigenden Grundwellen die Wellenbewegung an der Meeresoberfläche eben ſo gut, wie die hohen unterbrechen und dabei weit wohlfeiler ſind.

Ich habe durch die Figuren 63 und 64 die Profile zwei ſolcher Dämme vorgeſtellt, deren einer bis über das höchſte Meer emporzuragen, der andere unter dem Waſſer zu bleiben beſtimmt iſt; auch ſieht man in Fig. 63 mit punktirten Linien das Profil des von Ceſſart zu Dieppe aus Zimmerwerk gebauten

großen Dammes angedeutet. Durch die Zuſammenſtellung dieſes aus Ceſſart's Werk (Tome 2, planche XIII) entnommenen Profiles mit meinen concaven Dammprojekten, läßt ſich der Vortheil leicht erſehen, den dieſe letzten in Bezug auf die Grundwellen, und in Rückſicht auf die Erſparniß an Holz und Füllſteinen zu gewähren im Stande ſind.

Ceſſart gab der vorderen Böſchung ſeines Dammes eine vom Winkel von 45 Graden wenig abweichende Neigung; er glaubte mit Grund von der Regel Belidors abweichen zu dürfen, der, um die Dämme dem möglich geringſten Stoße auszuſetzen, und ihre Krone nicht zu ſehr zu ſchwächen, das Verhältniß der Höhe zur Anlage wie 7 zu 3 beſtimmt hat *).

Die concave Wand meines, durch ein Zimmerwerksgerippe gebildeten Dammes, erhält eine äußere und eine innere Plankenverkleidung. Jene bietet ihre Oberfläche den Grundwellen dar, dieſe hält die aus Steinen beſtehende Füllmaſſe zuſammen. Um eine längere Dauer der äußeren Verkleidung zu erzielen, werden die Bohlen vertikal geſtellt und nach dem Profile gekrümmt, ſo, daß die Faſern des Holzes mit der Bewegung der Grundwellen parallel laufen. Zwiſchen beiden Verkleidungen iſt der beſſeren Unterſtützung der äußeren Wand wegen, Bétonmaſſe eingelegt.

Mit gleichem Vortheile laſſen ſich die concaven Profile auch zu den von einem Balkengerippe zuſammengehaltenen Quais anwenden.

Zehntes Kapitel.

Mauern mit ebener Außenwand.

312. Ich habe geſagt (250), daß meine concaven Mauern zu ſolchen Bauwerken nicht anzuwenden wären, welche, ob-

*) Architecture hydraulique. 2. partie, t. 2. liv. 3. chap. VI.

gleich vom Meere beſpült, doch wegen ihrer beſonderen Lage gegen die Richtung der Wellen, oder wegen ſehr großer Meerestiefe nicht dem Anſchlage der Grundwellen ausgeſetzt ſind. Es mögen dann vertikale Mauern, oder jene mit ſchwacher Böſchung, wie man ſie gewöhnlich zu profiliren pflegt, gebraucht werden. Dieſe Arten von Mauern ſind jedoch Zerſtörungen ausgeſetzt, die zwar nicht von der Wirkung der Grundwellen herrühren, aber nichts deſto weniger die volle Aufmerkſamkeit des Baumeiſters verdienen.

313. Es handelt ſich hier nicht um ſolche Schäden, die wegen Unzuverläſſigkeit des Grundes entſtehen können, ſondern ich nehme an, daß der Grund entweder vollkommen feſt ſei, oder daß man ihn durch künſtliche Mittel befeſtiget habe, oder endlich, daß man ſolche Vorſicht anwende, um das Nachgeben des Grundes für das Bauwerk unſchädlich zu machen.

Die Waſſerbauwerke erleiden außer von den Urſachen, welche den allmäligen Verfall eines jeden Bauwerkes herbeiführen, auch noch Zerſtörungen durch das Waſſer, deſſen mechaniſche Wirkſamkeit ſich vorzüglich durch den Anſchlag der Grundwellen (328), und die von der Bahnbewegung der Elementchen herrührende Wellenbewegung (58) offenbart. Dieſe Anſchläge erſchüttern die Quaderverkleidungen der Mauern, und abgeſehen davon, daß dadurch die Verbindung der Verkleidungsſteine mit dem Hauptkörper des Mauerwerkes und mit dem Mörtel der Fugen zerſtört wird, ſo werden dieſe Fugen auch noch durch ein unaufhörliches Waſſerſpiel (batillement d'eau), das ſelbſt bei der leiſeſten Wellenbewegung Statt findet, und eine kleine ſtehende Schwingung bildet, getroffen und angegriffen. Ueberdieß iſt der Mörtel in den Fugen, wenn er nicht von beſonderer Güte iſt, auch der chemiſchen Einwirkung des Waſſers ausgeſetzt, er wird dann ausgewaſchen, und die Steine bleiben ohne Befeſtigung.

314. Mein concaves Profil, deſſen eigentlicher Zweck die

Ablenkung der Grundwellen iſt, beſeitiget zugleich alle Urſachen der Zerſtörung; weil durch den gewölbartigen Zuſchnitt die Steine und der Mörtel ſo ſehr an einander gepreßt ſind, daß ſie durch keinen Stoß erſchüttert werden können. Die ebenen Verkleidungen jedoch, die überall dort angewendet werden müſſen, wo ein concaves Profil unnöthig iſt, bleiben den Beſchädigungen durch das Waſſer unterworfen, und ſind auch noch einer anderen, bisher nicht ergründeten Urſache der Zerſtörung ausgeſetzt.

Bevor ich noch von dieſer Urſache, und von den Mitteln, ihrer Wirkung zu begegnen, ſpreche, iſt es nöthig, anzugeben, was man bis jetzt anzuwenden verſucht hat, um die Standhaftigkeit der ebenen Verkleidungen zu bewirken.

315. Die Baumeiſter haben geglaubt, daß die Fugen nur von dem Spiele der Waſſertheilchen auf der, bei jedem Niveau ſich horizontal ſtellenden, Oberfläche angegriffen würden. Dieß gab bei Vielen zu der Meinung Veranlaſſung, daß horizontale Fugen viel ſchneller zerſtört würden, als ſolche, die um einige Grade gegen den Horizont geneigt ſind. Andere wollten die horizontalen Fugen abſatzweiſe unterbrechen, und in verſchiedene Niveau's bringen; und man erdachte deßwegen verſchiedene Kombinationen für die ebenen Verkleidungen, mit Fugenlinien in wechſelnden Höhen, um die Zerſtörung der Fugen mehr einzuſchränken. Man hat ſelbſt den Vorſchlag gemacht, bei Bauwerken am Meere die vertikalen Fugen ununterbrochen anzuordnen, ſo daß vertikale Schaaren entſtehen, und die horizontalen Fugen ſo ausgetheilt werden könnten, daß nur ſehr wenige in einer und derſelben Höhe lägen *).

---

*) **Observations sur la disposition des pierres de parement des maçonneries baignées par des masses d'eau quelconques, et particulièrement de celles de la mer par M. C. D. L. Offic. du génie. Journal de physique t. 30. p. 401.**

316. Die Elementchen der Waſſeroberfläche ſind es nicht allein, welche an die Verkleidung anſchlagen; alle Theilchen der in Schwingung befindlichen Maſſe zunächſt an der Mauer thun dasſelbe (48). Alle Fugen einer, vom Wellenſchlage getroffenen Verkleidung alſo, ſind in der ganzen Höhe der von der Wellenbewegung ergriffenen Waſſermaſſe ähnlichen Angriffen ausgeſetzt, wie man ſie dem Spiele an der Oberfläche zuſchrieb. Es verſteht ſich, daß die Einwirkung bei veränderterm Waſſerſtande und veränderter Undulation, ſich auch ſtets auf anderen Punkten und in anderer Art ergeben wird. Man hat alſo kein anderes Mittel, um der Zerſtörung der Fugen durch die Wirkung des Waſſers entgegen zu arbeiten, als die gute Qualität des Mörtels, eine beſondere Sorgfalt bei ſeiner Anwendung, und eine bis an das Aengſtliche grenzende Inſtandhaltung.

Alle die verſchiedenen, ſtatt der einfachen Anordnung in horizontale Schaaren, angewendeten oder ſonſt vorgeſchlagenen Syſteme der Quaderverkleidungen, ſelbſt das Incertum der Alten ſind nicht im Stande, das Uebel, um das es ſich hier handelt, zu beſeitigen; ſie haben überdieß noch große Nachtheile in Beziehung auf die Schwierigkeiten beim Steinſchnitte und bei der Verſetzung, in Beziehung auf den Abfall bei der Arbeit, und endlich, weil durch die verſchiedenen Einſchnitte zum Wechſeln der Fugen Veranlaſſungen zu Brüchen herbeigeführt werden. Namentlich hat die Anordnung in vertikale Schaaren den Nachtheil, die Quadern des beſten Auflagers zu berauben, und bei den vertikalen Fugen dieſelbe Kontinuität herzuſtellen, welche man bei den horizontalen vermeiden will. Ich habe von dieſen verſchiedenen Verbänden zur Verkleidung nur deßwegen geſprochen, um zu zeigen, daß ſie Mängel haben, und nicht den Zweck erfüllen, den man ſich in Beziehung auf das kleine Wellenſpiel vorſetzte.

317. Man muß zugeben, daß die vertikal hinabwirkende

Schwere, und der daraus erfolgende Druck das weſentlichſte Mittel ſei, die Materialien mit einander zu verbinden. Es ſollen daher die Quadern zu den Verkleidungen nur in regelmäßigen Schaaren zugearbeitet werden, und horizontale Fugen zeigen.

318. Nichts deſto weniger iſt der Damm von Troon in Schottland aus Granitblöcken erbaut, welche, unter dem Winkel von 45 Graden, geneigte Schaaren bilden *). Man könnte vermuthen, daß dieſe Neigung zum Zwecke hatte, zu gleicher Zeit die horizontalen und vertikalen Fugen zu vermeiden, oder daß der Grund des Felſens, auf welchem der Damm erbaut iſt, von ſolcher Beſchaffenheit ſei, daß es leichter geweſen wäre, die Gründung abſatzweiſe in ſchiefen Lagen herzuſtellen, als horizontale Schichtungen zu machen. Aber es hätten bei der Gründung die Einſchnitte und Abſätze des Felſens, damit ſich darüber für die erſte Schaar ein horizontales Lager bilde, mit dreiſeitigen Prismen eben ſo ausgefüllt werden können, wie man es hernach bei Herſtellung der Krone zu machen gezwungen war. Man kann daher vorausſetzen, daß die engliſchen Ingenieurs die Neigung der Schaaren beim Damme von Troon in der Abſicht anordneten, um die Stabilität ihres Bauwerkes zu vermehren.

319. Wenn auch durch die Austheilung und Anordnung der Fugen einer Verkleidung die Wirkung des ſpielenden Waſſers auf den darin befindlichen Mörtel nicht beſeitigt werden kann, ſo iſt es doch nicht eben ſo in Beziehung auf ihre Dicke und die Sorgfalt, mit der ſie hergeſtellt werden. Zu breite Fugen ſind, bevor der Mörtel noch die gehörige Härte erlangt hat, zu ſehr dem Anſtoße des Waſſers und dem Benagen ausgeſetzt, und wenn man einerſeits glaubt, durch eine größere

---

*) Voyage dans la Grande-Brétagne par M. Charles Dupin. Force commerciale. t. 2. p. 189.

Dicke der Fugen den Vortheil einer leicht möglichen Wiederherſtellung zu gewinnen, ſo hat man auf der anderen Seite kein Mittel, dem neuen, in die Fugen geſtrichenen Mörtel, ſo wie dem erſten einen, für ſeine Erhärtung vortheilhaften, Druck zu verſchaffen. In zu engen Fugen hat die Mörtellage nicht die erforderliche Dicke, um das Spiel der Affinitäten, wodurch ſie erhärten ſoll, zu begünſtigen; das Waſſer dringt, ohne nützlich mitzuwirken, zu ſehr ein, löſt ihn auf, und die Fugen werden leer.

Man muß daher bei Waſſerbauten die Fugen weder zu breit, noch zu enge machen, ſondern ihnen eine mittlere Dicke geben, die ſich nach der Güte des Steines, nach der Bearbeitung, die ſie zulaſſen, und nach der Feinheit des zur Verſetzung zu gebrauchenden Cementes richtet.

320. Wie viele Sorgfalt man aber auch bei Herſtellung der Verkleidungen für ebene Mauern anwenden mochte, ſo ſind die Steine dennoch oft von ihrer Stelle gerückt, und die Verkleidungen zerſtört worden. Einem ſo großen Nachtheile ſuchte man dadarch zu begegnen, daß die Lagerfugen, und eben ſo auch die vertikalen mit Vorſprüngen oder Falzen und entſprechenden Vertiefungen verſehen wurden, oder daß man die Fugen in der Art richtete, daß jeder Binder einen Schwalbenſchweif bildete, um die anliegenden Läufer zurück zu halten. Die Fig. 65 zeigt ſolche Anordnungen. Bei geböſchten Mauern macht man auch einen Theil der Fugen horizontal, und den anderen ſenkrecht auf die Ebene der Verkleidung Fig. 66. Dieſe Anordnung hat weniger Stärke in der Verbindung, als die erſte.

321. Die Anwendung der Falze hat viele Gegner gefunden, und iſt wenig gebraucht worden, obgleich man ſie für ſolche Mauern vorſchlug, die ſelbſt einem heftigen Angriffe des Meeres ausgeſetzt ſind *). Man wirft ihr vor, daß ſie den Abfall der

---

*) Architecture hydraulique de Belidor. II. partie, t. 1. liv. 1. chap. XI.

Steine vermehre, weil die Aushöhlungen der Lager die Höhe der Schaaren vermindern, und daß ſie den Steinſchnitt verwickelter, und die Verſetzung ſchwieriger mache. Dieſe Einwürfe ſind jedoch grundlos, denn die Vermehrung des Abfalls und der Handarbeit können nicht in Betracht kommen, wenn es ſich darum handelt, dadurch eine beſondere Feſtigkeit zu erlangen. Der verwickeltere Steinſchnitt verurſacht, beſonders bei ebenen Oberflächen, nur eine geringe Schwierigkeit, und es genügt, in Beziehung auf die Gleichheit der vorſpringenden und eingehenden Falztheile, ſchon ein geringer Grad von Genauigkeit; denn es brauchen nur die großen inneren Lagerflächen, auf welchen die ganze Laſt ruht, vollkommen einander zu entſprechen, während die vorderen Fugen ohnehin ein Wenig weiter ſein müſſen, um das Ausſprengen der Verkleidung zu verhüten.

Was die Schwierigkeit bei der Verſetzung belangt, ſo wird dieſe auch nicht vermehrt; man braucht die Falze nur gehörig in einander greifen zu laſſen, ohne ängſtlich zugleich die Oberfläche der Verkleidung zu beachten. Dieſe muß ohnehin, wenn es nöthig iſt, nach Vollendung der Mauern wie gewöhnlich überarbeitet werden. Uebrigens kann man niemals, ohne übergroße Sorge, bei irgend einem Werke Vollkommenheit erlangen.

322. Man hat zuweilen ſtatt der Falze in die vertikalen Fugen Parallelepipede von hartem Steine ſo eingelegt, daß ſie mit ihrer Länge in zwei Schaaren zugleich eingriffen; aber dieſes Mittel erfordert wirklich eine große Genauigkeit des Steinſchnittes, und die Anwendung der Falze iſt in den meiſten Fällen rathſamer.

323. Es hat ſich ereignet, daß, ungeachtet aller angewendeten Mittel die Theile einer Verkleidung in einander gehörig eingreifen zu laſſen, die Steine dieſer Verkleidung doch losgelöſ't, und ſelbſt von ihrer Stelle geriſſen worden ſind. Ich

ſpürte der Urſache dieſes Mangels an Solidität nach, und unterſuchte Quaderverkleidungen, die, obgleich geſchützt vor den Grundwellen und dem Anſchlage der großen Wogen, auch durch die beſten Mittel vor ſchneller Zerſtörung nicht bewahrt werden konnten.

324. Ich fand, daß bloß die Läufer herausgeriſſen waren, während die Binder, aus dem ſehr feſt gewordenen Mauerwerk hervorragend, ſtehen geblieben ſind; nur wenige waren früher ſchon durch die Setzung des Bruchſtein-Mauerwerkes zerbrochen.

Indem ich dieſe beſondere Art von Zerſtörung an ſolchen Mauern beobachtete, die von ihrer Verkleidung noch nicht gänzlich entblößt waren, und wo die Läufer ſich noch zwiſchen den Bindern, wenn auch nicht mehr in ihrer urſprünglichen Lage, befanden, konnte ich wahrnehmen, daß die Setzung des Quadermauerwerkes geringer geweſen ſei, als die des Bruchſtein-Mauerwerkes. Durch die Setzung dieſes Letzteren wurden die Binder mit ihren Hintertheilen niedergedrückt und gezwungen, im Ganzen eine fächerartige Lage anzunehmen, Fig. 67, wodurch die Läufer aus aller Verbindung traten.

Es iſt leicht zu begreifen, daß dieſe Bewegung, ſo gering ſie auch geweſen ſein möchte, doch hinreiche, die Fugen aller Steine vorn zu öffnen. Da der, von dem Drucke nicht mehr feſt gehaltene, Mörtel weggeführt, und die Verbindung der Läufer mit dem Bruchſtein-Mauerwerke durch die Erſchütterung aufgehoben worden iſt, ſo verurſachte dann die bloße Wellenbewegung, indem ſie an die loſen, und im Waſſer bedeutend an Gewicht verlierenden Läufer wirkt, allmälig ein Hervortreten derſelben, wie es in der Figur 68 angedeutet iſt. Auch läßt ſich leicht einſehen, daß durch die große Wirkung der Setzung gleich anfänglich einige Binder gebrochen werden konnten, die jedoch nicht eher herabfielen, als bis ſie ihre Unterſtützung durch die darunter liegenden Läufer verlo-

ren hatten *). Ich habe eine Mauer geſehen, wo der Unterſchied der Setzungen ſo groß, und die Fugen ſo ſtark geöffnet waren, daß die Falze es nicht vermocht hätten, die Läufer zurück zu halten, auch wenn ſie nicht durch das, von der Wellenbewegung hervorgebrachte, Herumwerfen der Steine ganz zerſtört geweſen wären.

325. Es ließe ſich die Urſache dieſer Art von Zerſtörung völlig verſchwinden machen, indem man die Mauern ganz aus Quaderſteinen herſtellte, ſo wie man es zuweilen bei Bauwerken gemacht hat, die zwei Anſichtsflächen zeigen, oder keinen zu großen Körperinhalt haben, wie z. B. Brückenpfeiler, oder auch der Leuchtthurm von Eddyſtone, der überhaupt ein Muſter guter Anordnung iſt; aber es handelt ſich darum, die großen Nachtheile zu beſeitigen, welche von der ungleichen Setzung des Mauerwerkes von verſchiedener Art, wie man es aus Oekonomie anzuwenden gezwungen iſt, herrühren.

Um dem Lockerwerden der Quadern zu begegnen, habe ich im Jahre 1820 bei den Militär-Waſſerbauten von la Rochelle eine Verfahrungsweiſe eingeführt, welche in Beziehung auf die Solidität der nach geraden Linien profilirten und den Grundwellen nicht ausgeſetzten Verkleidungen, nichts zu wünſchen übrig läßt, und mir für manche Mauern beſſer ſcheint, als die Anbringung einer Concavität nach Art der Engländer.

326. Ich ließ alle Hintertheile der Binder von Grund auf bis zur Krone mit Quaderwürfeln, welche genau in das Niveau der ihnen angewieſenen Schaaren gelegt wurden, in der Art unterſtellen, daß nicht ein einziger Binder in das Bruch-

---

*) Eine ganz ähnliche Wirkung iſt von dem Herrn Hauptmann J. B. Bergére als eine der Haupturſachen der Ablöſung der Verkleidung beim Ziegelmauerwerk bezeichnet worden. (Nr. 7 du mémorial de l'officier du génie 1825.)

ſtein-Mauerwerk eingebunden, oder von demſelben auch nur einigermaßen getragen blieb. Die Figuren 69 und 70 zeigen für eine geböſchte und für eine ſenkrechte Verkleidung dieſe Konſtruktionsweiſe, wobei ich, zur Verbindung der Läufer mit den Bindern, Schwalbenſchweife, und zur Verbindung der Schaaren unter ſich Falze anwendete.

327. Dieſe Würfeln oder Unterſätze müſſen von unten bis hinauf die Senkrechte a b, welche man ſich von dem hinterſten Punkte des oberſten Binders gezogen denkt, erreichen, ſie aber ja nicht überſchreiten, denn, abgeſehen von dem unnützen Mehrverbrauch an Steinen, könnte es ſich, wenn die Ueberſchreitung bedeutender wäre, fügen, daß durch die Setzung des Bruchſtein-Mauerwerkes die Hintertheile der Unterſätze niedergedrückt, und hierdurch jene der Binder empor gehoben würden. Die Folge hiervon wäre ſehr nachtheilig. Die Verkleidung nähme eine concave, oben überhängende Form an, und Riſſe wären unausweichlich. Die Figur 71 zeigt dieß mit einiger Uebertreibung, damit es durch die Zeichnung beſſer in die Augen falle.

328. Der einzige Einwurf, der ſich gegen dieſes Mittel, die nachtheilige Wirkung einer ungleichen Setzung zu verhindern, machen läßt, iſt der Mehrverbrauch an Steinen, in Vergleich mit der gewöhnlichen Methode. Die Antwort hierauf iſt dieſelbe, wie bei einem ähnlichen Einwurfe gegen die concaven Mauern. Bei der gewöhnlichen Methode iſt große Wahrſcheinlichkeit vorhanden, daß die Verkleidung ſchnell zerſtört werden werde; durch die neue Methode erlangt man die Gewißheit, daß dieß nicht geſchieht, oder vielmehr, daß die allenfalls eintretenden Beſchädigungen nicht von der Verſchiedenheit der Setzungen herrühren werden. Hiernach iſt es leicht zu beurtheilen, auf welche Weiſe Oekonomie zu erzielen iſt.

329. Auch iſt zu bemerken, daß der Steinſchnitt und die Verſetzung einer in Falze gelegten, und mit Unterſätzen hinter

den Binderſchwänzen verſehenen Verkleidung weniger ſchwierig und koſtſpielig ſei, als bei den engliſchen concaven Mauern, und daß doch eben ſo ſolide Mauern hergeſtellt werden *).

330. Einige Ingenieurs glauben, daß durch die vergrößerten Dimenſionen der zu den Verkleidungen angewendeten Quader die Nachtheile einer ungleichen Setzung zu beſeitigen ſeien; wirklich iſt, wenn große Steine angewendet werden, der von ihrer Schwere herrührende Druck größer, als die Laſt des Mauerwerkes auf den Hintertheilen der Binder, und jeder Nachtheil kann ſehr verringert oder gänzlich beſeitigt werden, wenn die Verkleidung außerordentlich ſtark gemacht wird, und die Binder nur ſehr wenig in das Bruchſtein-Mauerwerk eingreifen. Mit ſo großen Blöcken baut man jedoch weit theurer, als wenn nur Steine von mittlerer, aber zur Feſtigkeit hinlänglicher Größe angewendet werden. Will man daher bei den Verkleidungen keinen überflüſſigen Luxus zeigen, ſo wird man gewiß aus Oekonomie die Methode mit Falzen und Einlageſteinen unter den Binderſchwänzen befolgen.

331. Endlich wurde noch der Einwurf gemacht, daß die Hintertheile der Binder, und die darunter gelegten Würfel gleichſam ein Syſtem von Strebepfeilern bilden, daß die Verbindung der Verkleidung mit dem Bruchſtein-Mauerwerke durch die abwechſelnd und ſchmatzenartig (verzahnt) angeordneten Binder nicht Statt finde, und daß es alſo nur eine horizontale, aber keine vertikale Bindung gebe. Nach meiner Anſicht ſind dieſe

---

*) Die Anlage einer engliſchen Mauer, wobei ein Theil der Schwere des Mauerwerkes auf der zurück zu haltenden Erde ruht, erinnert mich an eine ähnliche Anordnung bei den fortifikatoriſchen Verkleidungen in Preußen. Dieſe Mauern ſind eben und werden bloß zu den Contreſcarpen und den Kehlen der Werke mit trockenen Gräben angewendet. Die Fig. 75 gibt eine Vorſtellung von ihrem Profile.

Bemerkungen wenig bedeutend, denn die Strebepfeiler bringen gerade jene Wirkung hervor, welche erzielt werden ſoll, indem ſie die beiden Setzungen von einander unabhängig machen, und daher eine Setzung des Bruchſtein-Mauerwerkes die Lage der Quaderſteine nicht im Geringſten zu verrücken vermag. Es darf deßwegen das Bruchſtein-Mauerwerk auf keinem Theile der Verkleidung horizontal aufſitzen. — Alle möglichen, mit dem Einwurfe angedeuteten Nachtheile, werden durch die ununterbrochene, von unten bis hinauf reichende Verbindung der Quaderſtrebepfeiler mit dem Bruchſteinmauerwerke, und vorzüglich durch die Standhaftigkeit der Verkleidung reichlich aufgewogen.

Hat man überdieß die Beſorgniß, daß das, zwiſchen den zu nahe an einander ſtehenden Strebepfeilern befindliche, Bruchſtein-Mauerwerk wegen unzulänglicher Breite keine gute Verbindung geben dürfte, ſo iſt es leicht, die Austheilung ſo zu treffen, daß die Strebepfeiler aus Quadern, und jene aus Bruchſteinen wenigſtens von gleicher Breite ausfallen. Man gibt den Läufern entweder eine größere Länge, Fig. 72, oder bringt die Binder nur in jeder zweiten Schaar an, Fig. 73.

332. Eben ſolche Würfel oder Unterſätze, zur Stützung der Hintertheile der Binder, wie man ſie bei ebenen Verkleidungen gebraucht, können auch bei meinen concaven Mauern, ſobald die Verkleidung aus Quadern beſteht, angewendet werden. Nur trage man Sorge, die Mörtelſchichten in den Fugen nach hinten zu ein kleines Wenig dicker zu halten, damit ſie auch keilförmig werden, und die Spannung in der Art vermehren helfen, daß die Verkleidung feſt auf dem Bruchſtein-Mauerwerke aufliege, und bei der Setzung ſich nicht davon zu trennen vermöge.

Inhalt.

Seite.

Vorrede des Verfaſſers I

Vorrede des Ueberſetzers IX

Erſtes Kapitel.

Scheinbare Fortbewegung der Wellen.

1. Zweierlei Wellen 1

2. Gleichzeitigkeit verſchiedener Wellenſyſteme . . . . . . —

3. Die in Beziehung auf die Bauwerke zu berückſichtigenden Wellen 2

4. Wellenberge und Wellenthäler. Fig. 1. . . . . —

5. Länge der Wellen 3

6. Scheinbar fortrückende Bewegung; das Flattern einer Fahne, das Wogen eines Kornfeldes, die Schwingung einer Saite. Fig. 5. 4

Anmerk. Vorſtellung der Wellen im Theater. Die wellenartige Bewegung eines Waſſerſtrahls . . . . —

7. Wellen fließender Gewäſſer 5

8. Gleichförmigkeit der Wellenbewegung am Ufer . . . . . —

9. Seebauwerke 6

Zweites Kapitel.

Theorie der laufenden Wellen, wie ſie bis jetzt angenommen wurde.

10. Vorausſetzungen der alten Theorie 7

11. Beſchreibung der Wellenbewegung unter dieſen Vorausſetzungen. Fig. 2. . . . . —

Seite.

12. Brémontier's Beſtätigung dieſer Theorie durch Beobachtung 8
13. Unzulänglichkeit dieſer Beweiſe 9
Anmerk. Bewegung ſchwimmender Körper auf krummen Oberflächen von Flüſſigkeiten. Fig. 7, 8, 9, 10, 11. . . . . . —
14. Bahn eines im Waſſer niederſinkenden Körpers 10
15. Throcoïde 11

Drittes Kapitel.

Neue Wellentheorie.

16. Schwierigkeit, nach der alten Theorie die Wellenbewegung zu erklären 12
17. Die Nichtzuſammendrückbarkeit des Waſſers widerſpricht der alten Theorie 13
18. Tiefe, bis zu welcher die Wellenbewegung reicht . . . . —
19. Abnahme der Wellenbewegung in vertikaler Richtung . . 14
Anmerk. Höhe der Wellen . . . . —
20. Grenze der Wellenbewegung 15
21. Oscillation in verſchiedenen Höhen . . . . —
22. Uebereinſtimmung der Wellenſchwankungen in verſchiedenen Höhen 16
23. Die Abnahme der Wellenbewegung nach unten verträgt ſich ſchlechterdings nicht mit den Grundſätzen der alten Theorie . . . . —
24. Neue Theorie. Fig. 3. 17
25. Bahnbewegung; cycloidiſches Profil 19
Anmerk. Spiralbahnen 20
26. Verzeichnung der cycloidiſchen Wellenoberfläche . . . . —
27. Erhöhung des Wellenberges und Vertiefung des Wellenthales 21
Anmerk. Verhältniß der Bahnaxen . . . . —
28. Bewegung ſchwimmender Körper während der Wellenſchwankung 22
29. Liegende (Sturm=) Wellen 23
30. Was die Analyſe noch zu leiſten hat . . . . —
31. Newton und Laplace über Wellen 24

Seite.

Viertes Kapitel.

Erklärung verſchiedener Erſcheinungen bei Wellen.

32. Ueberſicht 24

1. Gleichzeitige Wellenbewegungen.

33. Alte und neue Theorie in dieſer Beziehung 25
34. Combination zweier ungleicher, nach einer und derſelben Richtung gehender Wellenſchwankungen. Fig. 12. —
35. Betrachtung des Profiles einer doppelten Wellenſchwankung 27
36. Uebereinſtimmung der doppelten Schwingungen in verſchiedenen Höhen . . . . —
37. Berückſichtigung der Grenzen der Bewegung in der Tiefe 28
38. Combination zweier ungleicher, nach entgegengeſetzter Richtung gehender Wellenſchwingungen . . . . —
39. Verſchiedene Combinationen zweier Wellenſchwingungen . 29
40. Einfluß der Strömungen . . . . —
41. Combination zweier gleicher, nach derſelben Richtung gehender Wellenſchwingungen. Fig. 13. . . . . —
42. Glatte Stellen mitten unter Wellen 30
43. Combination zweier gleicher, nach entgegengeſetzten Richtungen gehender Wellenſchwingungen 31
44. Combination zweier ſich kreuzender Schwingungen. Fig. 14. —
45. Betrachtung über dieſe Combination 32
46. Combination dreier Wellenſchwingungen 33
47. Allgemeines Geſetz der Combination von Wellenſchwingungen —

2. Zurückwerfen der Wellen.

48. Unmöglichkeit einer Erklärung dieſer Erſcheinung nach der alten Theorie 34
49. Sehr einfache Erklärung derſelben nach der neuen. Fig. 15. —
50. Irrthum in Beziehung auf den Mittelpunkt der Wirkung einer Welle 36

Seite.
51. Verſchobene Parallelogramme, welche von der Durchkreuzung der auffallenden und zurückgeworfenen Wellenſchwingung gebildet werden 36
52. Das Zurückwerfen einer vielfachen Wellenſchwingung . . . —
53. Wirkung des perpendikulären Anfalles der Wellen 37
54. Zurückwerfen der Wellen von ſteilen Wänden. Fig. 16. . . —
55. Dießfällige Beobachtung auf der Bank Terre neuve . 38
56. Anſchlag geneigter Wellen . . . . —
57. Zurückwerfen der Wellen von einer Böſchung . . . . . . —
58. Anſchlag der Wellen an perpendikuläre Mauern 39
59. Wirkung der Wellen auf ſchwimmende Körper . . . . . . —
60. Zuſammenwirken der Wellen und des Windes bei Schiffbrüchen 40
61. Die Wellen gehen über das Verdeck der Schiffe . . . . . —
62. Anſchlag der Wellen an Schiffe . . . . —

3. Das Brechen ſich begegnender gleicher Wellen und die ſtehende oder Klappenſchwingung.

63. Das Begegnen zweier gleicher Wellen 41
64. Wechſelſeitiges Zurückwerfen derſelben. Fig. 17. . . . . —
65. Klappenſchwingung 43
66. Wie ſie ausſieht 44
67. Beſchreibung der Bewegung bei ſtehenden Wellen . . . . —
68. Hinweiſung auf den Kalkül 47
69. Zuſammengeſetzte Klappenſchwingung . . . . —
70. Combination der ſtehenden mit den laufenden Wellen . . 48

4. Vom Zurückſtoßen der Wellen und von ihrer Verkürzung.

71. Beſchreibung des Rückſtoßes 48
72. Unmöglichkeit, ihn nach der alten Theorie zu erklären . . 49
73. Identität des Zurückſtoßens und des Zurückwerfens der Wellen . . . . —
74. Kurze Wellen 50
75. Erklärung dieſer Theorie. Fig. 20. 51
76. Fortpflanzung der verkürzten Wellen 52
77. Erklärung derſelben. Fig. 21. . . . . —

Seite.
78. Die Wellen des mittelländiſchen Meeres 54
79. Die Wellen des Wallenſtädter-Sees . . . . —

5. Vom Kräuſeln oder Schäumen der Wellen.

80. Beſchreibung dieſes Phänomens 55
81. Erklärung des erſten Falles. Fig. 22. 56
82. Erklärung des zweiten Falles. Fig. 23. 57
83. Erklärung des dritten Falles. Fig. 24. 58

6. Bemerkungen über die Ebbe und Flut.

84. Vergleich der Flutbewegung mit der Wellenbewegung. Fig. 25. 59
85. Doppelte Flut und Wellenbewegung 60

Fünftes Kapitel.

Vom Einfluſſe des Meeresgrundes auf die Wellen.

86. Dreifacher Einfluß 61

1. Verkürzung der Wellen wegen zu geringer Meerestiefe.

87. Rückwirkung des Grundes 61
88. Wirkung auf die Schiffe. Fig. 26. 62

2. Schwächung der Wellen in Folge einer ſanften Anſteigung des Grundes.

89. Erklärung 62
90. Wellen an den Ufern der Étangs von Biscaroſſe, de la Canau und von Hurtin 63

3. Von den Grundwellen.

91. Veränderungen der Ufer durch die Wirkungen des Meeres 63
92. Erſcheinung, welche durch eine gähe Erhebung des Meeresgrundes entſteht. Fig. 27. 64
93. Bezeichnung dieſer Erſcheinung 65

Seite.

94. Wirkung der Grundwellen auf Schiffe, welche ſonſt anderen Urſachen zugeſchrieben wurde 66
95. Unterſchied der Grundwellen und der Rückwirkung des Grundes —
96. Wirkung der horizontalen Bewegung der Grundwellen . . —
97. Unterſchied der Grundwellen und der gewöhnlichen Wellen . 67
98. Wirkung einzelner, aus dem Meeresgrunde hervorſtehender Körper . . . . —
99. Treppenartig auf einander folgende Abſätze; Erhöhung der Wellen 68
100. Wirkung des Strandes auf Grundwellen . . . . —
101. Folge der Bewegung der Grundwellen gegen den Strand —
102. Auslaufen der Wellen 69
103. Das Brechen der Wellen am Ufer. Fig. 28. . . . . . . —
104. Die alte Theorie iſt zur Erklärung des Brechens der Wellen am Ufer unzureichend 71
105. Erklärung von Bidone. Kügelchen, welche den, gegen das Ufer laufenden, Wellen vorangehen . . . . . . —
Anmerk. Erſcheinung beim Ablaufen einer Flüſſigkeit von den Wänden eines Gefäßes. Fig. 29 72
106. Verzögerung der andringenden Flut am Ufer 73
107. Auslaufen der Wellen . . . . —
108. Erhebung der Grundwellen an gähen, unter dem Waſſer liegenden Wänden 74
109. Der Felſen Harta . . . . —
110. Wellenbrecher 75
111. Kurze Wellen, verurſacht durch Grundwellen 76
112. Anſchlagen der Grundwellen gegen die unteren Theile der Schiffe . . . . —
113. Klappenſchwingung, hervorgebracht durch Grundwellen . —
114. Anſchlagen der Grundwellen an ſteile Küſten 77
115. Emporſteigen der Wellen an Felſen . . . . —
116. Buchtenförmige Küſten. Strahlenförmig emporſpringende Waſſermaſſen. Fig. 30. . . . . —
117. Im Bogen emporgetriebene Waſſermaſſen. Damm von St. Malo. Fig. 31. 78

Zwei Anmerkungen.

118. Irrthum Brémontier's in Bezug auf das Brechen der Wellen 78

Seite.

119. Emporſpringende Waſſermaſſen an den Attolons der maldiviſchen Inſeln 78
120. Emporſpringende Waſſermaſſe am Leuchtthurm von Eddyſtone. Fig. 32. 79
121. Emporſpringende Waſſermaſſen am Felſen: das Weib des Lot 80
122. Ueberſchwemmung von Warberg in Norwegen . . . . —
123. Die Blaſebälge des Teufels 81
124. Waſſerſtrahl auf der Inſel Teneriffa. Mittel, das Waſſer auf der Meeresküſte emporzuheben. Fig. 33. . 82
125. Waſſergebläſe. Fig. 34. 83
126. Schleuſe in dem Graben von la Rochelle. Fig. 35. . 84
127. Waſſermenge der am Eddyſtoner Leuchtthurme emporgetriebenen Maſſe 88
128. Das Meer wirft Alles aus, was es verſchlungen hat . . —
129. Wahrnehmung der Grundwellen durch Badende 89
130. Verſuche mit Korkkügelchen . . . . —
131. Gegenſtände, welche vom Meere nicht ausgeworfen werden können . . . . —
132. Opfer der Stürme. An das Ufer geworfene Wallfiſche, Cachalots ꝛc. . . . . —
133. Schiffbruch. Benützung der Grundwellen 90
134. Große, von den Grundwellen fortgetragene Steine . . . —
135. Zerſtörung des Dammes von St. Jean de Luz im Jahre 1822. Fig. 37. 91
1. Anmerk. Wehre zu Metz . . . . —
2. » Bemerkung über den die Zerſtörung veranlaſſenden Sturm 92
136. Zerſtörung des Dammes von Becquet bei Cherbourg 93
137. Korallenblöcke an der Perleninſel 94
138. Das Brechen der Wellen zeigt nicht ſtets Gefahr an . . —
139. Brechen der Wellen durch das Begegnen der Grundwellen 95
140. Erkenntniß der Gefahr, aus der Art wie ſich die Wellen brechen . . . . —
141. Die Grundwellen verurſachen eine höhere Flut 96
142. Die Grundwellen verurſachen Strömungen 97

Seite.

Sechstes Kapitel.

Von dem Toben des Meeres bei ruhiger Luft und von der Springflut in Flüſſen.

1. Von dem Toben des Meeres bei ruhiger Luft.

143. Dieſes Phänomen iſt bisher noch unerklärt 97
144. Beſchreibung desſelben . . . . —
145. Dieſe Erſcheinung auf Martinique 98
146. Urſache dieſer Erſcheinung . . . . —
147. Erklärung derſelben . . . . —
148. Dieſe Erſcheinung als wahrſcheinliche Urſache des Unfalles von St. Jean de Luz 99
149. Dieſe Erſcheinung in verſchiedenen Meeresgegenden . . . —
150. » » im Kanal la Manche 100
151. » » in Folge von Erdbeben . . . . —

2. Von der Springflut in Flüſſen.

152. Verſchiedene Benennungen der Springflut in Flüſſen . . 100
153. Beſchreibung derſelben 101
154. Bore und Pororoca . . . . —
155. Geſchwindigkeit des Pororoca und des Mascaret —
156. Unzulänglichkeit der bisherigen Erklärungen 102
157. Neue Erklärung der Springflut 103
158. Der Pororoca, der Bore und der Mascaret ſind gleiche Erſcheinungen 104
159. Beſchreibung des Mascaret in der Dordogne. Fig. 39. 105
160. Erklärung aller Einzelnheiten dieſer Erſcheinung 106
161. Steine, vom Mascaret emporgeworfen . . . . —
162. Wie ſich der Mascaret in ſeinem Fortſchreiten verändert —
163. Epochen ſeines Erſcheinens 107
164. Umſtände, unter welchen er nur Statt finden kann . . . 108
165. Verſchwinden des Mascarets der Garonne . . . . —
166. Wiederholter Beweis, daß der Bore und der Mascaret einerlei Erſcheinungen ſeien 109
167. Beſchaffenheit der Flußmündungen, wo kein Mascaret Statt finden kann 110

Seite.

Siebentes Kapitel.

Von den Anhägerungen.

168. Das von den Flüſſen mitgeführte und an Ufern abgeriſſene Materiale 111
169. Einfluß der Flut und Ebbe und der Uferſtrömungen . . . —

1. Anhägerungen an den Geſtaden und Dünen.

170. Wirkung der Grundwellen und der Flutſtrömungen auf ſteile Ufer 111
171. Wirkung der Uferſtrömungen und Gegenſtrömungen . . 112
172. Eigentliche Urſache der Fortbewegung des Materiales . . 113
173. Grundlage einer wahren Theorie der Anſandungen . . . 114
174. Dünen und Sandwüſten . . . . —
175. Beobachtungen von Jomard und den Bewohnern der Landes (Dep. des Landes) . . . . —
Anmerk. Auszug aus der Beſchreibung von Egypten 115
176. Die am Strande im Sande bezeichneten Wellenſchwingungen —
177. Kieſelablagerungen längs der Küſten 116
178. Bänke und Seichten . . . . —
179. Auskolkungen an ſteilen Ufern . . . . —
180. Pouilliers der Franzoſen 117
181. Ablagerungen, verurſacht durch das Begegnen von Grundwellen 118
182. Kanger in Liefland . . . . —

2. Von der Verſandung der Häfen.

183. Unvollkommenheit der Theorie der Anſandungen 119
184. Theorien von Montanari, Mercadier und Fremond de la Merveillère 120
185. Nothwendigkeit einer andern Theorie 121
186. Urſache der Sandanhäufungen in ſtehenden Wäſſern . . . —
Anmerk. Wirbel. Fig. 36. 122
187. Mittel, die Anſandungen zu verhüten, angegeben von Fremond de la Merveillère und von Mercadier —

Seite.

188. Anſicht Montanari's über die Einmündung der Piave in die Lagunen 123
189. Wahre Urſache der Hafenverſandungen . . . . —
190. Auf die Theorie der Grundwellen gegründete Löſung des Problems, Häfen vor Verſandungen zu bewahren . 124
191. Anordnung der Dämme und ihrer Köpfe . . . . —
192. Koſten . . . . —
193. Anwendung dieſer Theorie auf die Rhede von Cherbourg. Fig. 62. 125

3. Von den Ablagerungen an den Mündungen der Flüſſe.

194. Urſachen, welchen man dieſe Ablagerungen zuſchrieb . . 127
195. Erklärung, wie ſie ſich gebildet haben ſollen 128
196. Erklärung, abgeleitet aus der Theorie der Grundwellen . —
197. Entſtehung der Sandanhäufung im Adour 130
Anmerk. Der aus dem Ocean herbeigeführte Sand . . . . —
198. Beſchreibung desſelben . . . . —
199. Alte Mündung des Adour 131
200. Eröffnung einer neuen Mündung durch Louis de Foix 132
201. Verfehlte Abſicht; Dämme längs des Adour . . . . . —
202. Projekte zur Beſeitigung der Sandanhäufung 133
203. Durch die Wäſſer des Étang von Tarnos . . . . . . —
204. Spülſchleuſen . . . . —
205. Kanal der Landes . . . . —
Anmerk. Details über dieſen Kanal . . . . —
206. Verlängerung der Dämme des Adour . . . . —
Anmerk. Sandanhäufung an der Dee in Schottland . . . 134
207. Projekt einer neuen Ausmündung des Adour . . . . . —
208. Vortheile und Sicherheit des Erfolges 135
209. Koſten 136
210. Vergrößerung des Verkehrs von Bayonne . . . . . —
211. Sandanhäufungen in verſchiedenen Flüſſen . . . . . —
212. Landzungen von Sand 137
Anmerk. Bildung der friſchen Nehrung . . . . —
213. Sandanhäufung des Senegal und des Bouga . . . 138

Seite.

Anmerk. Bepflanzung mit Strandfichten, um die Dünen zu befeſtigen 138
214. Anwendung der Theorie der Grundwellen auf einige geologiſche Probleme 139
215. Kieſel und Sand in den Flüſſen 140
216. Erratiſche Blöcke . . . . —
Anmerk. Blöcke des Hafendammes von Cette . . . . . —

4. Schlammige Anhägerungen.

217. Wirkung der Grundwellen auf den Schlamm 141
218. Verſandungen von Nieder-Poitou 142
219. Beſitznahme der Anhägerungen 143
220. Wirkung der Dämme . . . . —
Anmerk. Künſtliche Ablagerungen 144
221. Wohin die Dämme zu ſtellen ſind . . . . —
222. Schutz- und Sicherheitsdämme 145
223. Verſandungs-Sporne . . . . —
224. Dämme auf der Inſel Noirmoutiers 146
225. Profil der Faſchinen-Dämme . . . . —

Achtes Kapitel.

Neues Mauerprofil für Seebauwerke.

226. Theorie, nach welcher die Geſtalt der Bauwerke beſtimmt werden muß 147
227. Anſchlag der Grundwellen . . . . —
Anmerk. Erfahrungen über die Kraft der Wellen 148
228. Geringe Widerſtandsfähigkeit vertikaler Mauer-Verkleidungen 149
229. Wo die Zerſtörung beginnt . . . . —
230. Größe der Materialien . . . . —
231. Große Böſchungen. Künſtlicher Strand von St. Jean de Luz, für die Inſel Noirmoutiers vorgeſchlagen. Fig. 38. 150
Anmerk. Künſtlicher Strand, von Hrn. Blondeau . . . —
232. Nachtheile ſehr ſanfter Böſchungen 152
233. Neues Profil. Fig. 40. . . . . —
234. Krümmung desſelben 153

Seite.

235. Profil, im Jahre 1818 projektirt, im Jahre 1820 auf der Inſel Ré ausgeführt. Fig. 41. 153
236. Vortheile desſelben, abgeſehen von der Bewegung der Grundwellen 154
237. Gründungsart 155
238. Günſtige Umſtände bei der Gründung . . . . —
239. Anwendung desſelben beim Hafen-Molo von Socoa. Fig. 43. 156
240. Profil, aus mehreren Zirkelbögen zuſammengeſetzt . . . —
241. Unzweckmäßigkeit der Geſimſe und Cordons 157
242. Anwendung des neuen Profiles zu einer Quai-Mauer. Fig. 44. . . . . —
243. Prüfung des Einwurfes wegen der Koſten 158
244. Erddruck auf die Mauern 159
245. Beſchaffenheit der Verkleidungsſteine . . . . —
246. Anwendung von Granitblöcken mittlerer Größe 160
247. Prüfung des Einwurfes in Beziehung auf die Schwierigkeiten bei Reparaturen . . . . —
248. Auch bei Faſchinen-Dämmen ließen ſich die concaven Profile verſuchen 161
249. Anwendung derſelben zu den Schutzdämmen an der Küſte —
Anmerk. Profil des Dammes von la Hougue 162
250. Wo das concave Profil nicht anzuwenden iſt . . . . . —
251. Einzelne concave Theile einiger Seebauwerke. Fig. 45. . 163
252. Profil der von Touros vorgeſchlagenen Dämme für die Bucht von St. Jean de Luz. Fig. 46. 164
253. Die von Brémontier zu demſelben Zwecke erbauten Dämme 165
254. Zerſtörung dieſer Dämme . . . . —
255. Anwendung des concaven Profiles zu dieſen Dämmen . . 166
256. Profil eines Theiles der Umfaſſungsmauern von Cadix. Von Muños. Fig. 47. . . . . —
257. Bemerkungen über die Stein-Vorwürfe 166
258. Concaves Profil der Engländer. Damm von Bamff. Fig. 48 und 49. 168
259. Molo des Bernardin de Saint-Pierre . . . . . —
260. Das concave Profil keine neue Erfindung, aber deſſen Benützung bei Seebauten 169

Seite.

Neuntes Kapitel.

Herſtellung der Ruhe in den Häfen.

261. Bauart der antiken Molo's 169
262. Nützlichkeit der Bemerkungen, wozu der Damm von Cherbourg und der Wellenbrecher von Plymouth Veranlaſſung geben 170
263. Projekte von de la Bretonniére, von de Caux und von de Ceſſart für den Cherbourger Damm. Fig. 50. . . . . —
Anmerk. Verwendung der mit Mauerwerk angefüllten Schiffe, um Dämme darauf zu gründen. Details über die Dämme von la Rochelle, und vorzüglich über jene bei der Belagerung von 1628 . . . . —
264. Prüfung des Ceſſart'ſchen Projekts 174
265. Zerſtörung von 18 koniſchen Käſten 175
266 Gutachten der Commiſſion vom Jahre 1792 176
267. Unterſuchungen über das ſtärkſte Profil 177
268. Schlußfolgerungen und Vorſchriften von Cachin. Die Dämme von Malaga, Caſtellamare und Athen 178
Anmerk. Molo von Samos, Damm von Chalcis, Heptaſtadium, Dämme von Salamis und Tyrus . . . —
269. Wirkung der Grundwellen auf die Dämme von Cherbourg und von Plymouth 179
270. Urſache der Veränderung der innern Böſchung des Cherbourger Dammes 181
271. Niedrigerwerden der Steinſchüttung von 1784 . . . . —
272. Wirkung der Wellen auf die Steinſchüttungen 182
273. Anſicht der Commiſſion von 1792 über die dem Cherbourger Damme zu gebende Höhe . . . . —
274. Höhe eines unter dem Waſſer liegenden Dammes . . . 183
275. Höhe eines über die höchſten Fluten hervorragenden Dammes 184
276. Anwendung der Theorie der Grundwellen zur Herſtellung der Ruhe auf einer Rhede . . . . —
277. Umſtände, welche die Erhöhung eines Dammes über das höchſte Meer erheiſchen . . . . —

Seite.

278. Schädlicher Einfluß der Steinſchüttung des Cherbourger Dammes auf die Wellen der Rhede. Fig. 51. . . 186
279. Mängel der Steinſchüttung, als Damm betrachtet . . . 188
280. Wahrſcheinlicher Erfolg der Cachin'ſchen Projekte . . —
Anmerk. Projekt von Noël 189
281. Hintanſetzung der Cachin'ſchen Ideen 190
282. Neues Projekt . . . . —
283. Grundſätze dieſes Projektes 191
Anmerk. 1. Beginn der Ausführung . . . . —
2. Projekt . . . . —
3. Eiſenbahn. Boot zum Transport und zum Schütten der Steine 192
284. Prüfung der angenommenen Grundſätze 193
285. Seegras auf der Steinſchüttung . . . . —
286. Schüttung großer Blöcke 194
287. Profil des projektirten gemauerten Dammes 196
288. Erfolg, den man zu erwarten hat 197
289. Anwendung des concaven Profiles für einen, unter dem Waſſer zu bleiben beſtimmten, Damm. Fig. 52. . . —
290. Bemerkung über dieſes Profil 198
291. Ein über die höchſten Fluten hervorragender Damm mit concavem Profile . . . . —
292. Vergleich der Wirkungen eines concaven, eines engliſchen und eines geradlinigen Profiles 199
293. Vortheile des concaven Profiles 200
294. Wahrſcheinlichkeit eines ſchlechten Erfolges von jedem anderen Mittel. . . . . —
295. Projekt des Herrn Dumont-Moulin . . . . —
296. Projekt eines Dammes mit concavem Profile für die Rhede von Cherbourg 201
297. Mittel zur Ausführung in hoher See . . . . —

1. Käſten.

298. Beſchreibung der Form-Käſten, Transport und Verſenkung derſelben. Fig. 57. 202
299. Bau des Dammes. Fig. 55 und 56. 203

Seite.

2. Prismen.

300. Beſchreibungen der ſechsſeitigen Prismen von Béton, und ihr Gebrauch. Fig. 58 und 59. 205
301. Dreiſeitige Béton=Prismen in Piemont und Toscana . . 206
302. Kubiſche Bétonkörper von Icard . . . . —
303. Hafendamm von Alexandria in Egypten 207
304. Verfertigung der ſechsſeitigen Prismen, Transport und Verſetzung derſelben. Fig. 60. . . . . —
Anmerk. 1. Durchſichtigkeit des Meeres 308
2. Taucher 209
305. Dauer des Baues . . . . —
306. Vergleich der projektirten Bauten mit den Werken der Alten 210

3. Gewölbeſteine.

307. Verfertigung und Verwendung der gewölbeſteinförmigen Béton=Blöcke. Fig. 61. 211
308. Erfolg, welcher zu erwarten ſteht, wenn ein Damm mit concavem Profile gebaut wird 212
309. Vergleich der Projekte von Dämmen mit concavem Profile mit den andern. Fig. 53 und 54. . . . . —
310. Erſparniß durch den Bau dieſer Art von Dämmen . . . 213
311. Anwendung des concaven Profiles zu Dämmen aus Zimmerwerk. Fig. 63 und 64. 214

Zehntes Kapitel.

Mauern mit ebener Außenwand.

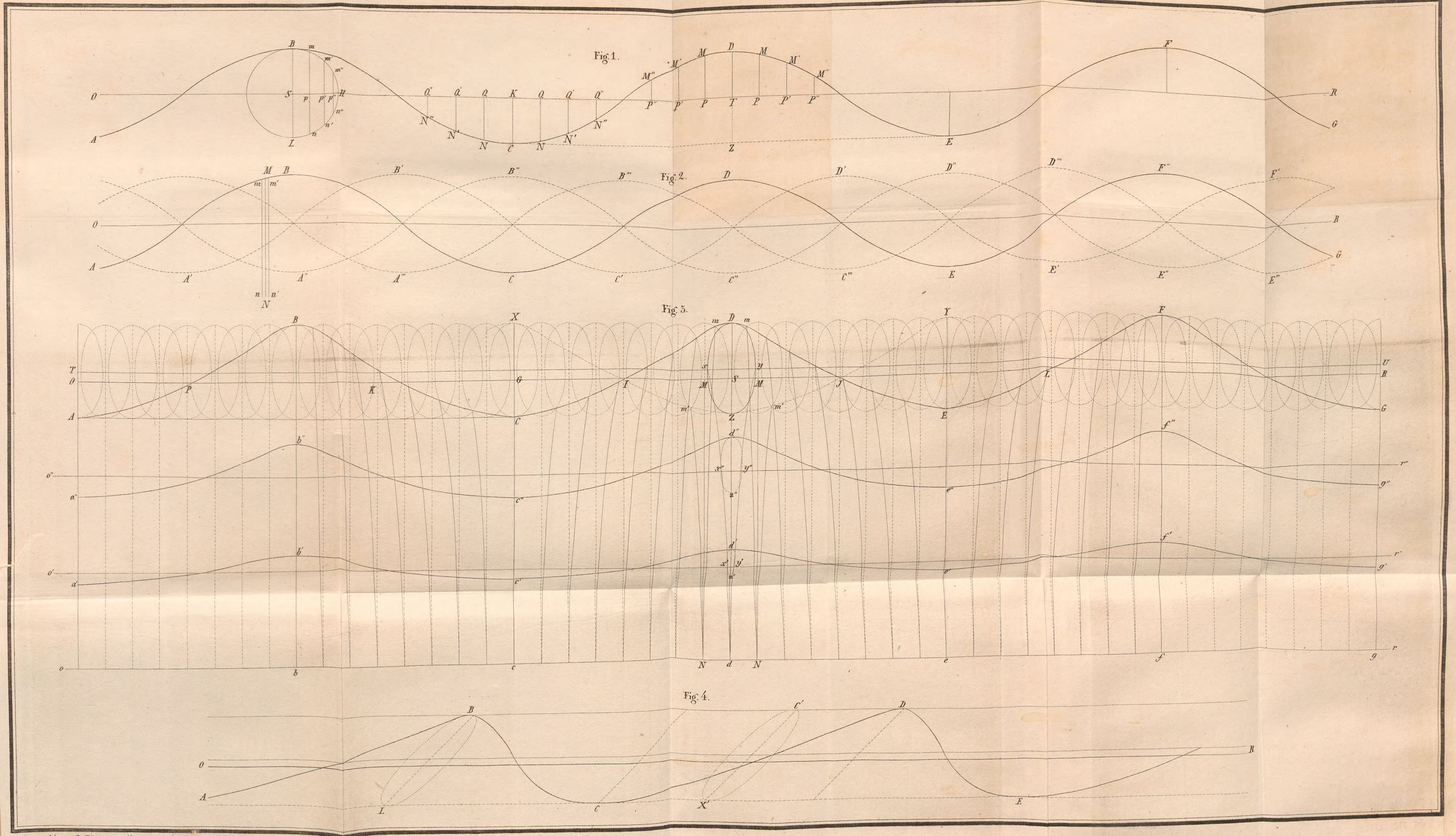
312. Mauern, geſchützt vor den Grundwellen 215
313. Beſchädigungen, denen die Mauern mit ebener Außenwand ausgeſetzt ſind 216
314. Vortheile der concaven Verkleidungen, abgeſehen von ihrer Wirkſamkeit gegen die Grundwellen . . . . . . —
315. Die von verſchiedenen Baumeiſtern vorgeſchlagenen Fugen=Anordnungen für Quadermauern 217
316. Wirkung des Wellenſchlages 218
317. Vorzüglichkeit der horizontalen Lager und Fugen . . . —

Seite.
318. Damm von Troon in Schottland 219
319. Dicke der Fugen . . . . —
320. Verrückung des Quaderſtein-Verbandes; Mittel, derſelben vorzubeugen 220
321. Falze . . . . —
322. Eingelegte Parallelepipeda 221
323. Unzulänglichkeit dieſer Mittel . . . . —
324. Bisher unergründete Urſache des zerſtörten Verbandes der Verkleidungs-Quadern. Fig. 67 und 68. 222
325. Mauern, ganz aus Quaderſteinen 223
326. Unterſatzſtücke. Fig. 69 und 70. . . . . —
327. Nachtheile einer übel verſtandenen Anwendung der Unterſatzſtücke. Fig. 71. 224
328. Einwurf in Bezug auf die Unkoſten . . . . —
329. Vergleich der Anordnung mit Unterſatzſtücken mit der engliſchen . . . . —
Anmerk. Liegende Mauern in Preußen. Fig. 75. 225
330. Verkleidungen mit großen Blöcken . . . . —
331. Einwurf wegen des Verbandes in der Mauer. Fig. 72 und 73. —
332. Anwendung der Einlageſtücke bei concaven Mauer-Profilen 226

Verbeſſerungen.

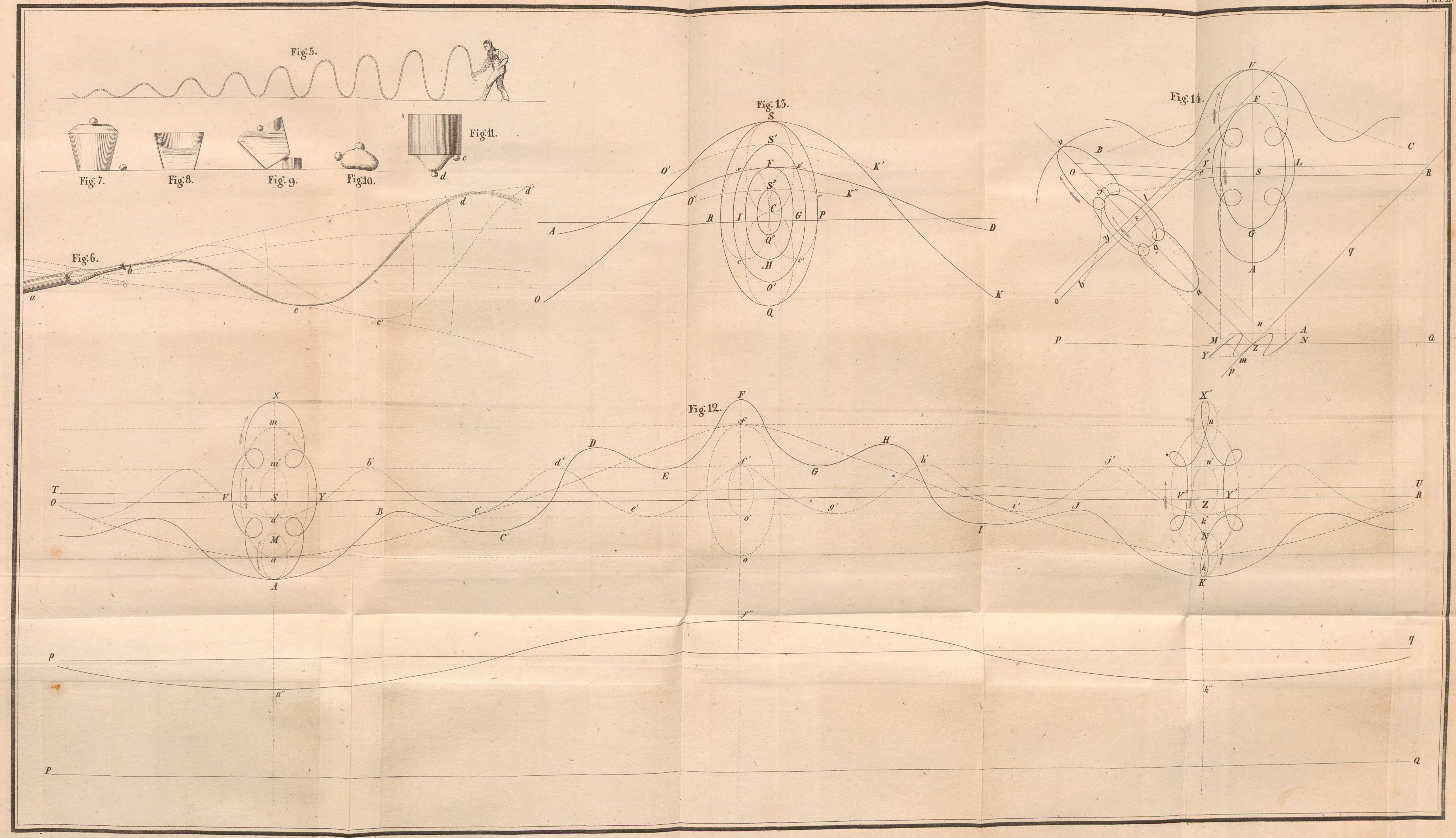
Seite 7, Zeile 10, von unten, lies mn ſtatt MN.
» 7, » 9, von unten, lies m′n′ ſtatt MN.
» 10, » 16, von unten, lies auf der, ſtatt auf die.
» 11, » 2, von oben, lies Strahlenbrechung, ſtatt Strahlenberechnung.
» 17, » 11, von oben, lies erhalten, ſtatt enthalten.
» 18, » 11, von unten, lies Nm′Zm′N, ſtatt Nm′ZmN′.
» 18, » 3, von unten, lies Fläche, ſtatt Oberfläche.
» 19, » 13, von oben, lies eine über die andere, ſtatt eine über der andern.
» 22, » 1, von oben, lies IDJ, ſtatt JDF.
» 22, » 2, von oben, lies JEL, ſtatt FEL.
» 29, » 2, von oben, lies O, ſtatt V.
» 30, » 2, von unten, lies hinſtellet, ſtatt herſtellet.
» 32, » 8, von oben, lies ZS und Zs, ſtatt ZS und zs.
» 32, » 9, von unten, lies PQ, ſtatt PO.
» 33, » 11, von oben, lies während, ſtatt und.
» 42, » 16, von unten, lies JS, ſtatt IS.
» 43, » 11, von oben, lies cf, ſtatt ef.
» 44, » 6, von unten, lies A′BC′DE′, ſtatt A′B′C′D′E′.
» 45, » 11, von oben, lies n, n′, ſtatt n, m′.
» 56, » 10, von unten, lies AB′, ſtatt AB.
» 56, » 10, von unten, lies AB′C′, ſtatt A′B′C′.
» 56, » 7, von unten, lies B′, ſtatt B.
» 58, » 7, von oben, lies Schwingung, ſtatt Richtung.
» 58, » 8, von oben, lies M′B′, ſtatt M′B.
» 58, » 9, von oben, lies B′H, ſtatt BH.
» 63, » 14, von unten, lies Canau, ſtatt Conau.
» 64, » 18, von oben, lies PQ, ſtatt PZ.
» 74, » 9, von unten, lies K′, ſtatt k.
» 75, » 3, von oben, lies vor, ſtatt von.
» 83, » 12, von unten, lies BE, ſtatt BC.
» 101, » 3, von unten, lies Laquédives, ſtatt Laquidives.
» 115, » 2, von unten, lies Antaeopolis, ſtatt Antacopolis.
» 120, » 2 und 3, von unten, bleibt weg: die Wirkung der Grundwellen auf.
» 140, » 17, von oben lies: nicht auch, ſtatt auch nicht.

Seite 144, Zeile 7, von oben, lies auszutrocknenden, ſtatt ausge-
trockneten.
» 145, » 2, von unten, lies verſande, ſtatt verſandete.
» 146, » 18, von oben, lies Vautrie, ſtatt Vantrie.
» 166, » 14, von oben, lies Muños, ſtatt Munos.
» 167, » 2, von unten, lies ſeien, ſtatt ſein werden.
» 176, » 5, von unten, lies Erbauung, ſtatt Entfernung.
» 178, » 1, von unten, im Texte, lies verlornen, ſtatt verloren.
» 178, » 3, von unten, in der Note, lies Chalcis, ſtatt Chalois.
» 186, » 18, von oben, lies dr″, ſtatt d′r′.
» 197, » 4, von unten, lies PQ, ſtatt PO.
» 198, » 6, von oben, lies J, ſtatt I.
» 207, » 4, von oben, lies und, ſtatt der.
» 209, » 3, der Anmerkung, lies Catteau, ſtatt Chateau.
» 213, » 16, von oben, lies C″ D′ E′ F′, ſtatt C′ D″ E″ F″
» 220, » 1, von oben, lies möglichſt leichten, ſtatt leicht
möglichen.



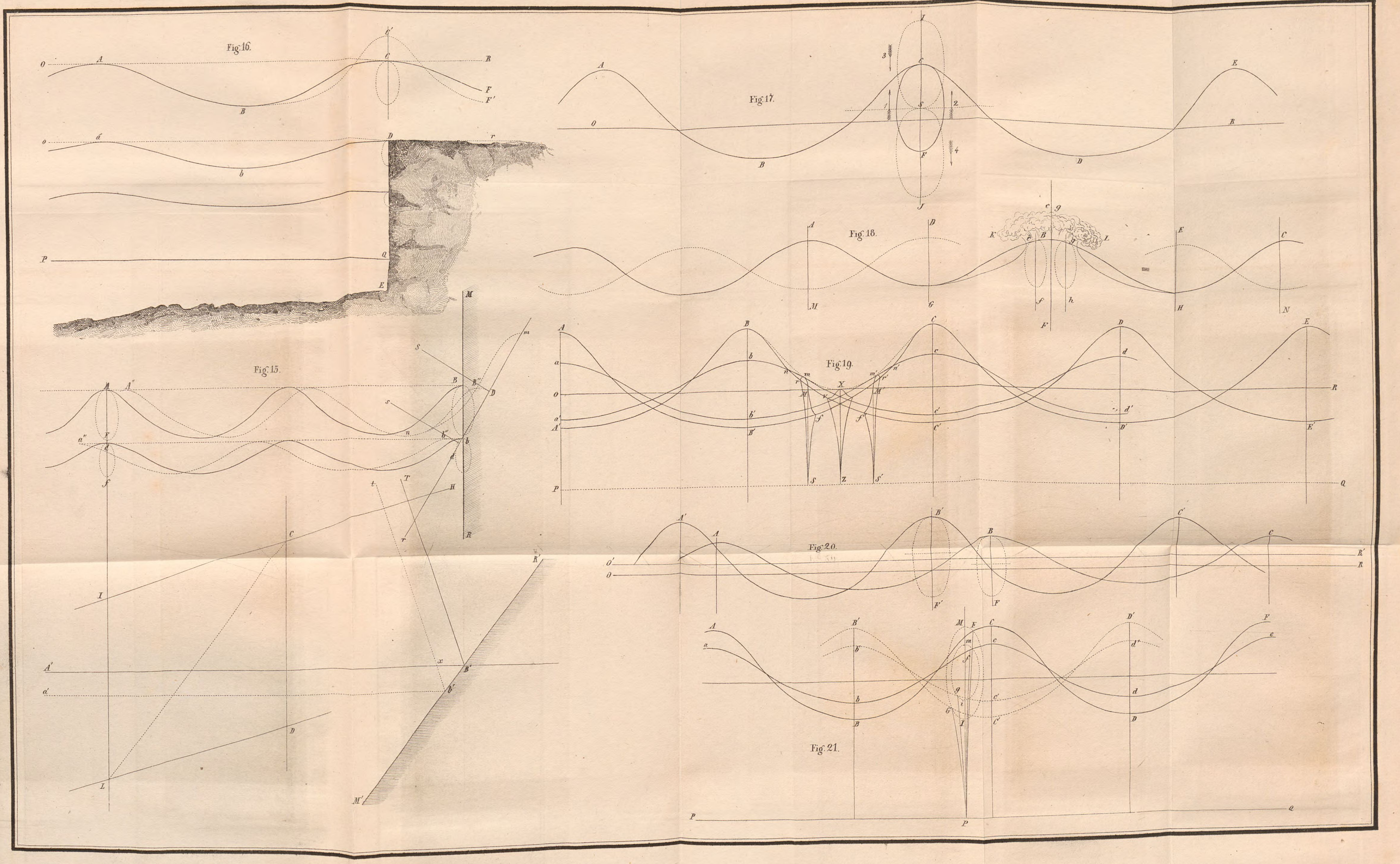
Zinkographie von L. Förster's artist. Anstalt in Wien.

Taf. II

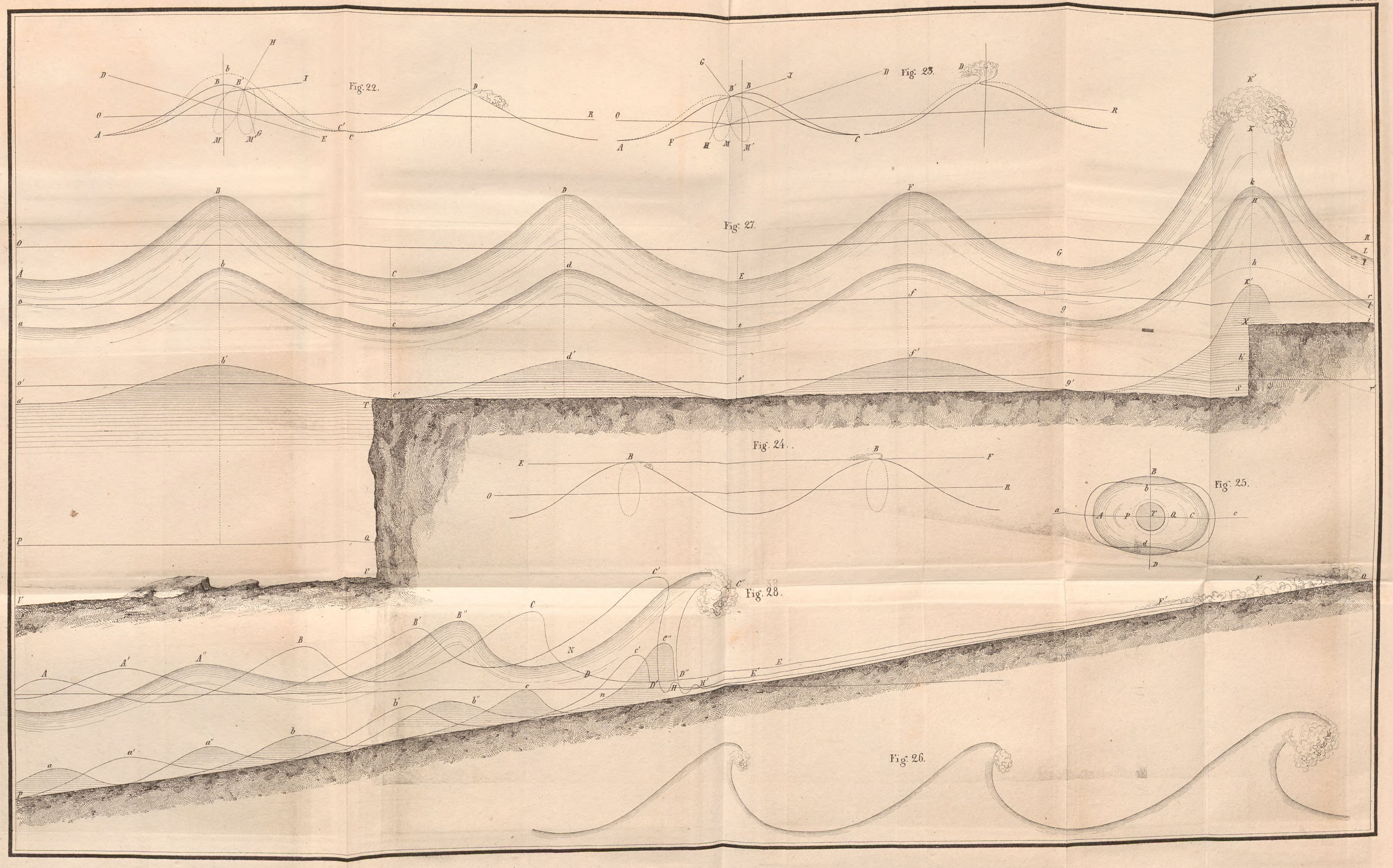


Zinkographie von L. Förster's artist. Anstalt in Wien.

Taf. III.



Taf. IV.



Taf. V

Fig. 29.
Fig. 30.
Fig. 36.
Fig. 31.
Durchschnitt nach der Linie tv Fig. 35.
Fig. 35.
Erster Durchschnitt nach der Linie x y z Fig. 35.
Fig. 34.
Fig. 33.
Fig. 32.
Zweiter Durchschnitt nach der Linie x y z Fig. 35.
Maasstab
zu Fig. 32
zu Fig. 33
zu den Durchschnitten
Mètres.

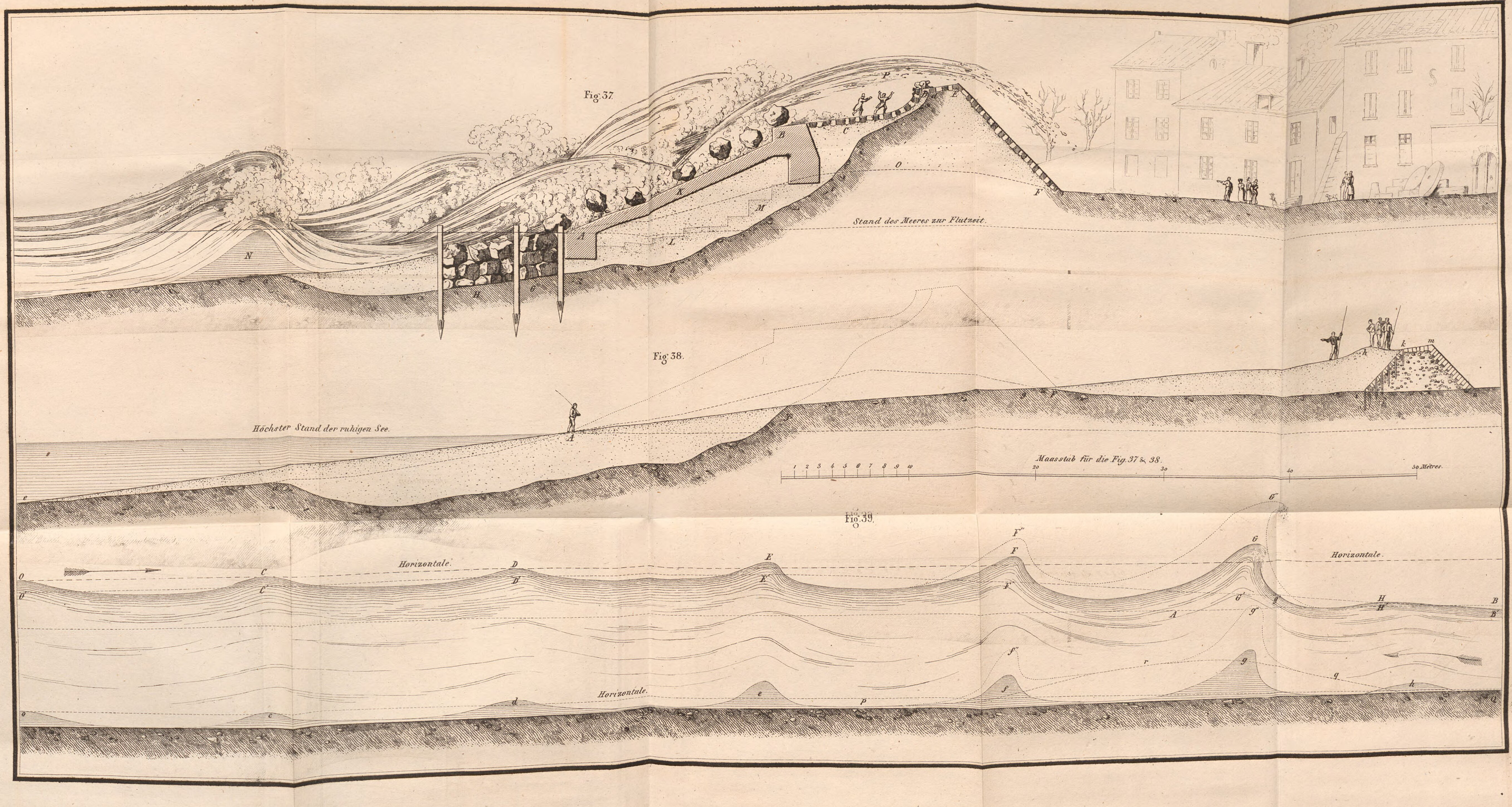


Fig. 37.
Stand des Meeres zur Flutzeit.
Fig. 38.
Höchster Stand der ruhigen See.
Maasstab für die Fig. 37 & 38.
50 Metres.
Fig. 39.
Horizontale.
Horizontale.
Horizontale.

Fig. 40.
Fig. 41.
Hohes Meer.
Fig. 42.
Fig. 44.
Fig. 43.
Hoher Wasserstand.
Niedriger Wasserstand
Fig. 47.
Stand des Meeres zur Flutzeit.
Stand des Meeres zur Ebbezeit
Fig. 45.
Hohes Meer.
Fig. 46.
Hoher Wasserstand
Niedriger Wasserstand
Fig. 48.
Fig. 49.
Maasstab für die Figuren 40–47.
30 Metres.

Fig. 50.

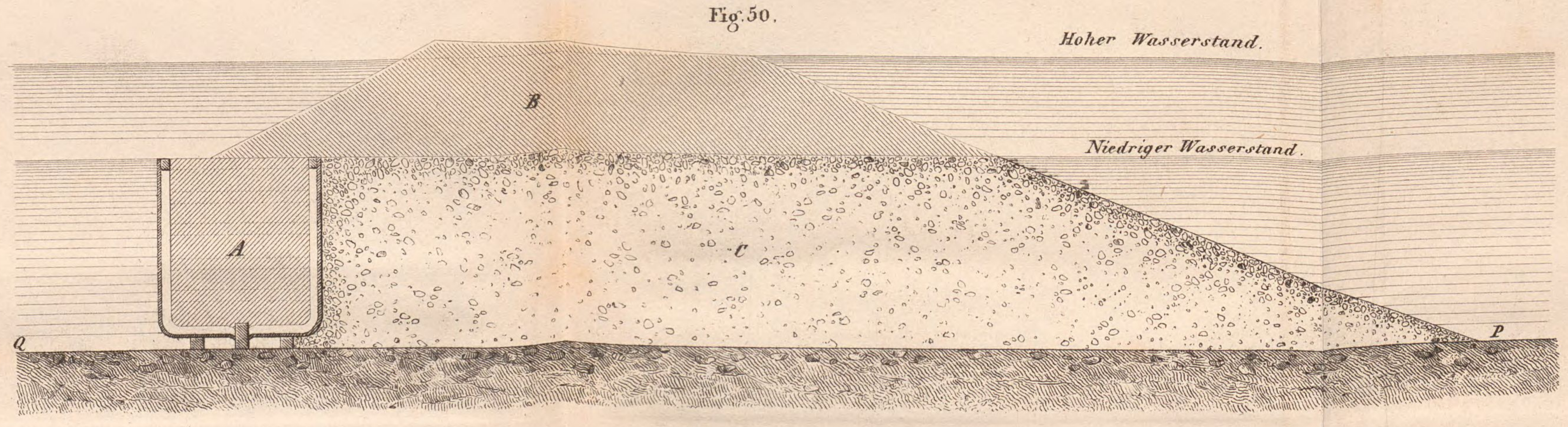


Fig. 52.

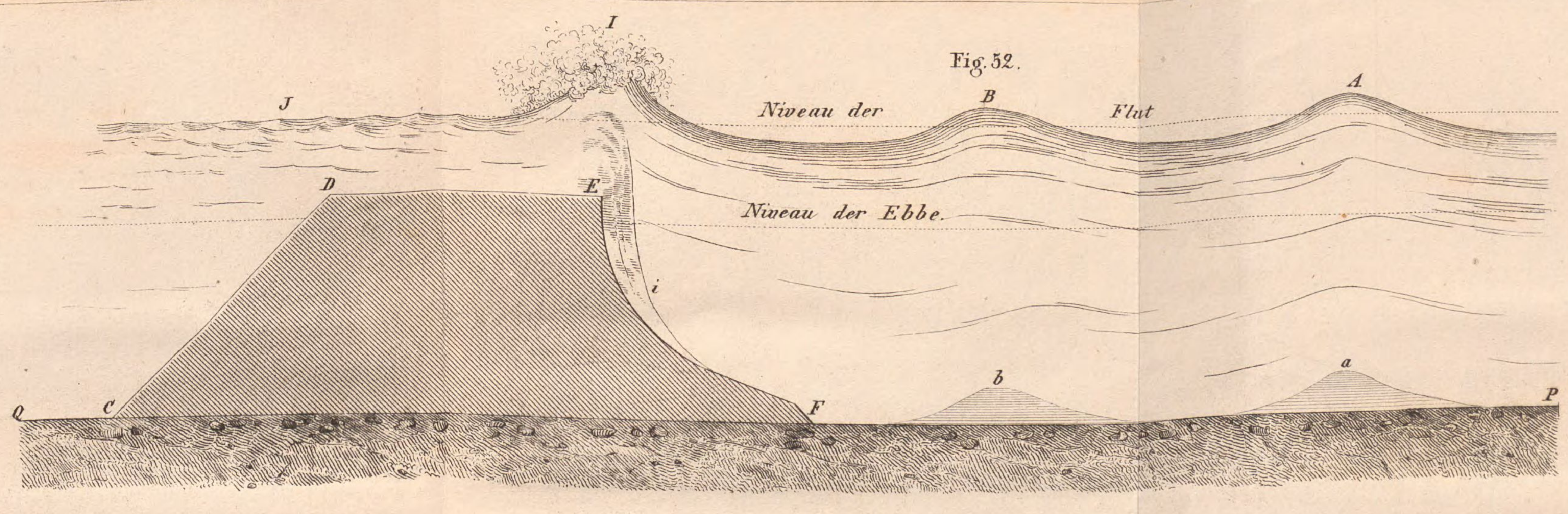
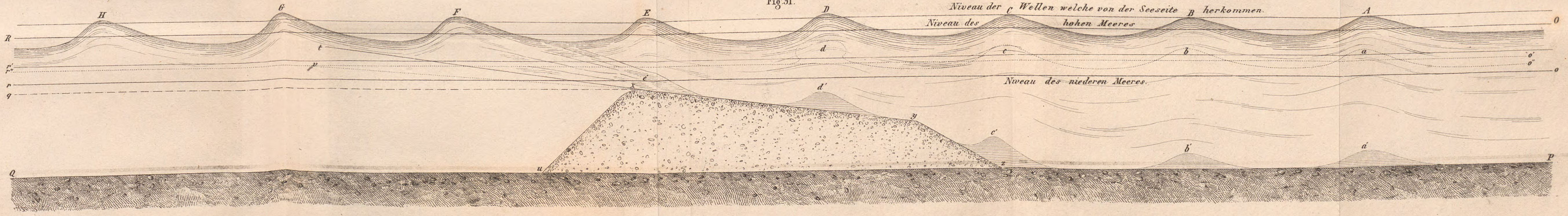


Fig. 51.



Maasstab zu Fig. 50–54.

Fig. 53.

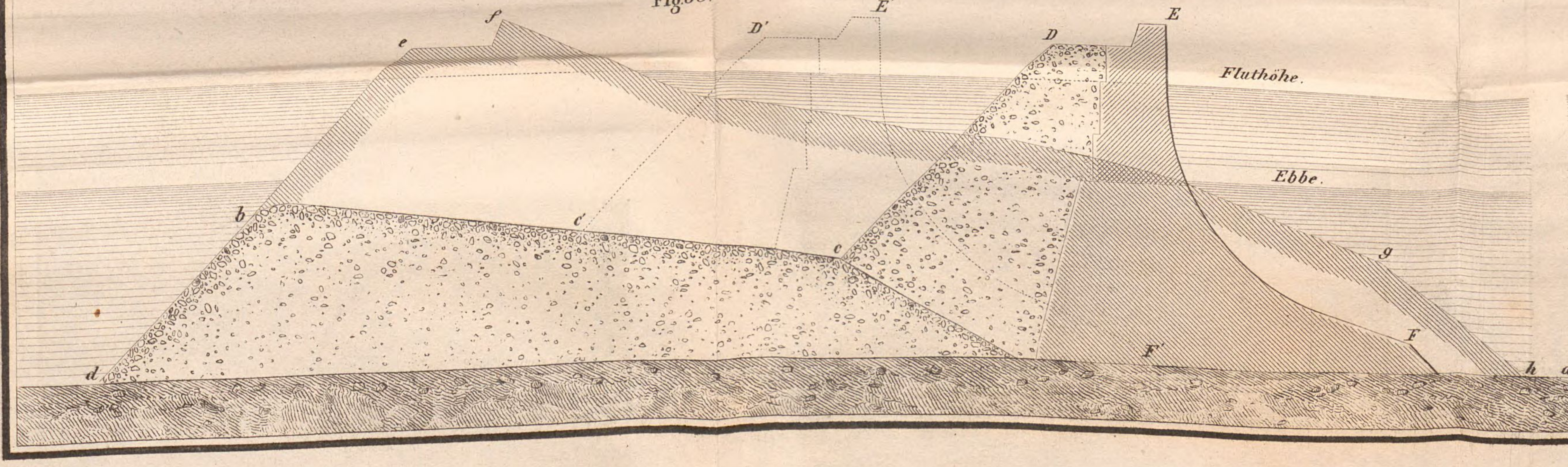


Fig. 54.

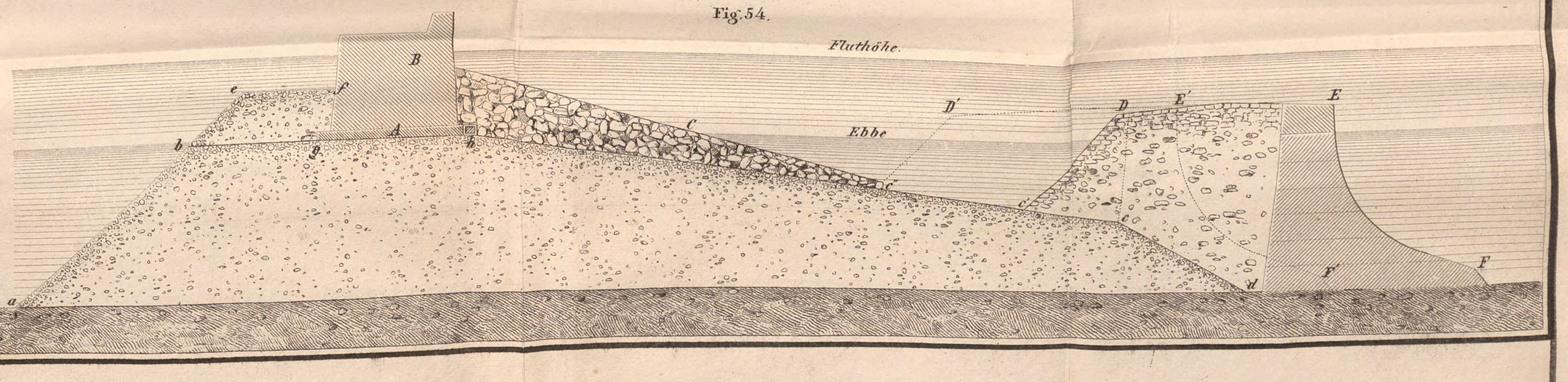


Fig. 56.
Stand des Meeres zur Zeit der Flut.
Stand des Meeres zur Zeit der Ebbe.
Fig. 60.
Fig. 55.
Stand des Meeres zur Zeit der Flut.
Stand des Meeres zur Zeit der Ebbe.
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 20 30 40 50 60 Metres.
Fig. 61.
Fig. 58.
Stand des Meeres zur Zeit der Flut.
Stand des Meeres zur Zeit der Ebbe.
Fig. 59.
A
Fig. 57.
Stand des Meeres zur Zeit der Flut.
Stand des Meeres zur Zeit der Ebbe.
D

Taf. X.

Maasstab zu Fig. 63 & 64.
40 Mètres.
Fig. 62.
Hafendamm
Fig. 64.
Fluthöhe.
Fig. 63.
Fluthöhe.
Maasstab zu Fig. 62.
Höhe der Ebbe.
Höhe der Ebbe.
Fig. 65.
Aufriss
Durchschnitt nach A.B.
Fig. 67
Fig. 71
Fig. 69.
Fig. 70
Fig. 72.
Fig. 73.
Fig. 75.
Durchschnitt nach A.B. Fig. 72 & 73.
Durchschnitt nach A.B Fig. 72 & 73.
Aufriss.
Fig. 66.
Fig. 68
Fig. 74.
Maasstab für Fig. 65 bis 74.
3 Mètres.
Grundriss nach C.D.
Grundriss in der Ebene C.D in Fig. 69, 70, 72 & 73.

Werner.

Bayerische StaatsBibliothek

Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Emy, Amand-Rose

Ueber die Bewegung der Wellen und über den Bau am Meere und im Meere

Wien 1839

A.hydr. 33 m

urn:nbn:de:bvb:12-bsb10059825-5